

# TDK-DOLGOZAT

Molnár Imre





BRÜNNI MŰSZAKI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR

AUTOMATIKAI ÉS INFORMATIKAI TANSZÉK

# AUTOMATIZÁCIÓ MEGJELENÍTÉSE VIRTUÁLIS VALÓSÁGBAN

SZERZŐ

Molnár Imre

TÉMAVEZETŐ

Ing. Tomáš Hůlka - kutató

BRÜNN 2023

PÁLYAMUNKA LEZÁRÁSÁNAK DÁTUMA: 2024.05.25.



# TARTALOM

|          |                                                                           |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>BEVEZETÉS.....</b>                                                     | <b>7</b>  |
| <b>2</b> | <b>VIRTUÁLIS VALÓSÁG .....</b>                                            | <b>9</b>  |
| 2.1      | A virtuális valóság története .....                                       | 9         |
| 2.2      | A virtuális valóság felhasználása.....                                    | 10        |
| 2.2.1    | Oktatás és csoportos találkozóhelyek .....                                | 11        |
| 2.2.2    | Videójátékok.....                                                         | 12        |
| 2.2.3    | Egészségügy .....                                                         | 14        |
| 2.2.4    | Katonai felhasználás .....                                                | 15        |
| 2.2.5    | Ipari felhasználás .....                                                  | 16        |
| 2.3      | Leggyakrabban használt VR-szemüvegek.....                                 | 18        |
| 2.4      | A virtuálisvalóság-élmény minőségének javítása.....                       | 20        |
| <b>3</b> | <b>IPARI ROBOTOK SZIMULÁCIÓJA .....</b>                                   | <b>22</b> |
| 3.1      | Alapvető információk az ipari robotokról .....                            | 22        |
| 3.2      | A robot mozgásának alapvető típusai [23] .....                            | 22        |
| 3.3      | Útmutató a különböző automatizációs szoftverek felhasználásához.....      | 23        |
| <b>4</b> | <b>SAJÁT MEGOLDÁS .....</b>                                               | <b>24</b> |
| 4.1      | Alapvető információk a projektről .....                                   | 24        |
| 4.2      | Komponensmodellezés paraméterek és illusztrációs képek alapján .....      | 25        |
| 4.3      | A megfelelő szimulációs szoftver kiválasztása .....                       | 28        |
| 4.4      | A modellek elhelyezkedése és változtatásai a különböző iterációkban ..... | 31        |
| 4.5      | Szerszámok létrehozása a RoboDK-ban.....                                  | 32        |
| 4.6      | Automatizálási folyamat egy és két SCARA robothoz .....                   | 33        |
| 4.7      | Aktív és interaktív elemek a RoboDK-ban.....                              | 35        |
| 4.8      | Felhasználói környezet elkészítése .....                                  | 36        |
| 4.9      | A projekt eredménye .....                                                 | 37        |
| 4.9.1    | Támogatott exportálási fájlformátumok .....                               | 37        |
| 4.9.2    | Az automatizáció további felhasználási lehetőségei .....                  | 38        |
| 4.10     | Automatizálás megjelenítésének optimalizálása a VR-bemutatóra .....       | 39        |
| 4.10.1   | Hardveres optimalizálás .....                                             | 39        |
| 4.10.2   | A szoftver optimalizálása .....                                           | 40        |
| <b>5</b> | <b>ÖSSZEGZÉS.....</b>                                                     | <b>43</b> |
|          | <b>FELHASZNÁLT IRODALOM.....</b>                                          | <b>44</b> |
|          | <b>TÁBLÁZATOK ÉS KÉPEK TARTALOMJEGYZÉKE .....</b>                         | <b>47</b> |
|          | <b>FELHASZNÁLT RÖVIDÍTÉSEK TARTALOMJEGYZÉKE .....</b>                     | <b>49</b> |



# 1 BEVEZETÉS

Az elmúlt években a VR-ipar exponenciális fejlődésbe kezdett. A legnagyobb vállalatok minden évben más-más virtuális valóság- (VR), kiterjesztett valóság- (AR) vagy kevert valóság szemüvegeket (XR) adnak ki.

A piacon lévő szemüvegek megnövekedett választéka lehetőséget ad arra, hogy igényeinknek megfelelően kiválasszuk a számunkra legmegfelelőbbet. Vannak olyan szemüvegek, amelyek nehezebbek, nagyobb pixelsűrűséggel és kijelző felbontással rendelkeznek, és vannak olyanok, amelyek könnyebbek és kontrollerrel sem rendelkeznek. A szemüvegek elterjedése új piacot és környezetet teremtett a fejlesztők számára is, hogy új funkciókat és szoftvereket hozhassanak létre. Többek között a következő dolgokra is használhatjuk ezeket a szemüvegeket napjainkban: testünk működésének jobb megértésére, katonák kiképzésére, játékokra, gyakorlókockák betanítására, különböző munkagépek használatára, automatizálásra vagy szerszámgépek szimulálására, anélkül, hogy a drága munkagépeket mennének tönkre.

Ez a projekt a laboratóriumi robotautomatizálás virtuális valóságban történő megjelenítésével foglalkozik. A projekt előrehaladtával kiderült, hogy ez a terület még nem annyira elterjedt, de már létezik néhány szoftver, amely támogatja az automatizálás virtuális valóságban történő létrehozását. Remélem, hogy a jövőben még sok hasonló szoftver fog létrejönni, amelyekkel valódi robotautomatizációkat hozhatunk létre, és amelyek az interakciók számos lehetőségét is képesek biztosítani.

A következő fejezetekben az XR-technológiával kapcsolatos ismereteinket bővíthetjük. A 2. fejezet a virtuális valóság jelentésének megfogalmazásával, történetével, valamint a leggyakrabban használt szemüvegekkel foglalkozik. Ezekhez a szemüvegekhez már elérhetőek különböző kiegészítők a kifinomultabb használathoz, amelyek növelik számunkra a virtuális valóság „minőségét”. Ilyenek például a haptikus ruházatok, vagy az adatbevitel minőségének vagy mennyiségének növelésére szolgáló eszközök.

A 3. fejezet az ipari robotokkal, azok szimulációjával, kinematikájával foglalkozik, leírja még továbbá a különböző koordináta-rendszerek használatának alapjait és a különböző szoftverek használatának lehetőségeit.

A 4. fejezet utolsó szakasza az egy és két robot automatizálási eljárásának leírásával foglalkozik különböző környezeti megvalósításban.



## 2 VIRTUÁLIS VALÓSÁG

A virtuális valóság egy olyan technológia, amely a valósághoz hasonlít, saját fizikai törvényekkel rendelkező virtuális környezetet hoz létre. Ez a környezet a felhasználó szemétől nem messze elhelyezkedő kijelzőkön jelenik meg. Egyes szemüvegek egy nagyobb, jobb és bal oldalra osztott kijelzőt használnak, mások pedig 2 azonos felbontású kisebb kijelzőt. A képeket úgy korrigálják, hogy a felhasználó számára 3D-s képet hozzanak létre.

VR-szemüvegek saját érzékelőkkel rendelkeznek, amelyekkel követik a felhasználó fejének mozgását, forgását, és ennek megfelelően forgatják és tolják el a képet a virtuális valóságba. Az interakcióhoz speciális vezérlőket használnak vagy esetlegesen mesterséges intelligenciát a felhasználó kezének követésére.

### 2.1 A virtuális valóság története

A VR-technológia több mint 50 évvel ezelőtt megkezdte a fejlődését. Az egyik első virtuálisvalóság-eszközt Morton Heilig találta fel 1957-ben. Ezt a eszközt Sensorama-nak nevezte el. Magát a technológiát csak 1987-ben nevezte el Jaron Lanier „virtuális valóságnak”.

A számítógépek fejlődése az ötvenes években a többihez hasonlóan, ezt a technológiát is nagyon erősen befolyásolta, de sajnos a lassú és drága számítógépek még nem tették lehetővé, hogy a technológia elterjedhessen kutatási, szervezeti vagy harci felhasználáson túli szintekre is.

1980 és 1990 között az otthoni számítógépek minősége sokat javult, és ennek köszönhetően már lehetővé tették VR kezdetleges otthoni használatát. A nagyobb elektronikai cégek, például a SEGA és a Nintendo ebben az időszakban kezdtek el dolgozni az első otthoni használatra szánt VR-szemüvegeiken. Ennek ellenére az akkori számítógépek paraméterei még alacsonyok voltak, ez lehetett az egyik oka, hogy azok nem lettek kereskedelmi szempontból sikeresek.

2010-ben az új és olcsóbb technológiáknak köszönhetően Palmer Luckey új VR-tervezetekkel állt elő. Munkája végül az Oculus (2012-2019) létrehozásához vezetett, és megteremtette a virtuálisvalóság-szemüvegek alapjait. [1]

Ezután az idő múlásával a technológia fokozatosan fejlődni kezdett, a képernyők minősége és frissítési sebessége nőtt, elkészültek az első érzékelők a felhasználó helyiségben való követésére, a fejhallgatók súlya és ára is csökkent.

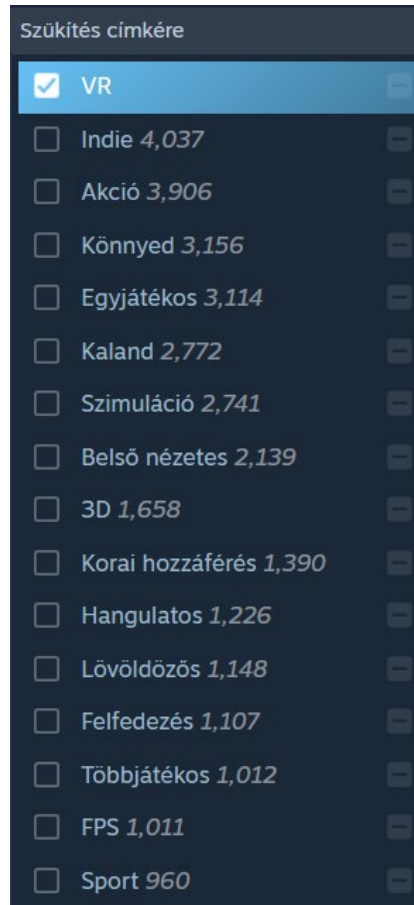
Az elmúlt 10 évben a VR-szemüvegek piaca sokat fejlődött, mind hardveresen, mind szoftveresen. A globális vállalatok felvásárolták a kisebb cégeket, amelyek a saját technológiájukat fejlesztették, és elindult a platformháború.

A VRcompare weboldalán összehasonlíthatjuk a legfontosabb tulajdonságaikat. [2]

## 2.2 A virtuális valóság felhasználása

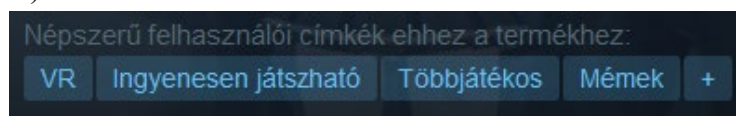
Napjainkban a virtuális valóságot számos célra lehet használni. Egyesek nyilvánvalóak lehetnek, de vannak olyanok, amelyekre a hétköznapi felhasználó nem is gondolna.

A Steam platformon a VR-t támogató szoftverek a következő csoportokba tartoznak:



Ábra 1: A leggyakrabban használt kulcsszavak VR-al kombinálva [3]

Ebből láthatjuk, hogy a legtöbb szoftver *indie*, *akció*, *casual* (könnyed) és *egyjátékos*. Ez alapján viszont nem tudjuk pontosan meghatározni például a különböző közösségi találkozóhelyek számát, mivel ezek a szoftverek nincsenek megfelelően és egyértelműen feltüntetve, lásd például a legnépszerűbb közösségi platformot, a VRChatet az első 5 jelzésnél (Ábra 2).



Ábra 2: A VRChat szoftver első 5 kulcsszava [4]

A Steam és saját tapasztalataim alapján a VR-technológiát a következő felhasználásokra osztanám fel a legfontosabb és legérdekesebb felhasználási módok szerint:

- Oktatás és csoportos találkozóhelyek,
- videójátékok:
  - drónvezérlés
  - fizika szemléltetése
  - sport
- katonai
- egészségügy - rehabilitáció
- ipari felhasználás:
  - építészeti bemutató
  - modellezés és művészet
  - automatizálás és szimuláció

### 2.2.1 Oktatás és csoportos találkozóhelyek

Ezen a platformon könnyen létrehozhatunk szobákat, hogy találkozhatunk másokkal. Erre többféle lehetőség is van, például a VRChat, az AltspaceVR vagy az OasisVR. Professzionálisabb felhasználásra alkalmas például az Immersed alkalmazás (lásd Ábra. 3), amelyben létrehozhatunk csoportos tárgyalótermet, ahol szükség szerint tudunk prezentálni, csevegni vagy megmutatni a virtuális kijelzőnket.



Ábra 3: Példa egy tanulócsoport találkozózára VR-ban (Immersed) [5]

### 2.2.2 Videójátékok

A videójátékok a legfontosabb alapkövei a platformnak. Mivel a felhasználók ezt használják a legtöbbet, ezért ez a terület a legfejlettebb. A szoftvereknek ezt a csoportját azonban nem szabad alábecsülni, ide tartoznak például többek között a különböző szimulátorok, sportjátékok vagy a realisztikus játékmotorokkal rendelkező világok is.

– FPV drónok vezérlése:

A VR-szemüvegek egyik érdekes felhasználási módja az FPV drónok irányítása. Ezt közvetlenül virtuális valóságban is elérhetjük az FPV Drone Simulator alkalmazással. [6] (lásd. Ábra. 4.). Másrészt, voltak már kísérletek arra, hogy egy DJI drónt VR-szemüveghez csatlakoztassanak közvetlenül (lásd. Ábra. 4), amelyek tulajdonképpen a klasszikus drónok FPV vezérlését tették lehetővé (persze a nem klasszikus használat miatt voltak kisebb nehézségek a vezérlésben).



Ábra 4: Példa a drónnal való használatra – FPV Drone Simulator [6] és a valóságban [7]

– Fizika szemléltetése:

Egy másik nagyon érdekes játéktípusba tartoznak azok a játékok, amelyek egy speciális „Marrow 1” játékmotort használnak, ez a fizikai interakciókat biztosítja. Ennek a motornak az az érdekessége, hogy automatikusan beállítja az interaktivitást minden olyan modell között, amely a játékban van, vagy amelyet további kiegészítők adtak hozzá. Ezt a motort a Stress Level Zero fejlesztőcsoport hozta létre és a BONEWORKS és a BoneLab PCVR játékokban használták (lásd. Ábra. 5).



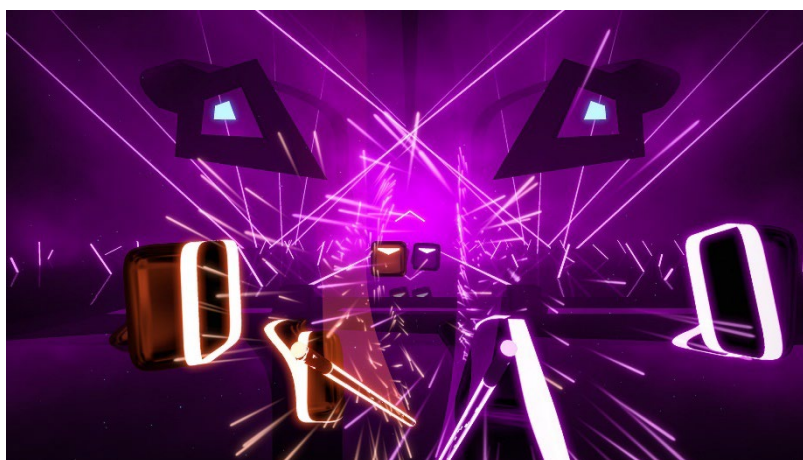
Ábra 5: Példa a VR-ban való fizika tesztelésére – BONEWORKS [8]

### – Sport:

Elmondhatjuk, hogy a játékok nagyon nagy százaléka részben sportorientált, mivel gyakran a gyors reakciókra épülnek, és mind a 6 DoF-ot használják az emberek megmozgatására. A VR-t nem ajánlott elsődleges mozgás biztosításra használni, inkább javasolt kiegészítésnek alkalmazni azt.

Jay Kim, az Oregoni Állami Egyetem Foglalkozási és Biomechanikai Kutatási Laboratóriumának munkatársa a VR-szemüvegek hosszú távú használatának negatív következményeit kutatta, ezt követően fogalmazta meg a gorilla kéz szindrómát. Ez a szindróma akkor jelentkezik, ha valaki hosszú ideig (pl. kontroller használatakor) kéztámasz nélkül tartja maga előtt a kezét. [9]

Ennek ellenére ezen a platformon, valamint a PCVR és önálló módban nagyon jó minőségű és kreatív alkalmazások állnak rendelkezésre a napi minimális kardiógyakorlatok egy részének bebiztosításához (akár futás formájában is, lásd fejezetet. 2.4). A legnépszerűbb sportjátékok közé tartozik: Pistol Whip, Beat Saber (lásd Ábra. 6), Supernatural, Eleven Table Tennis (lásd. Ábra. 7) vagy a Thrill of the Fight (lásd Ábra. 8). Ezekkel az alkalmazásokkal golfozhatunk, asztaliteniszezhetünk és más külföldi barátainkkal játszhatunk, tornázhatunk, bokszolhatunk.



Ábra 6: Kardió edzés VR-ban - Beat Saber [10]



Ábra 7: Asztalitenisz a VR-ban – Eleven Table Tennis [11]



Ábra 8: Box VR-ban – The Thrill of the Fight [12]

### 2.2.3 Egészségügy

[13] A virtuális valóságnak ez a területe a kereskedelmi felhasználók számára nem annyira ismert, ezzel szemben az egészségügy különböző ágazataiban is használták már. Például a virtuális valóságot, mint technológiát használható a robotsebészetben, a főbiák kezelésében, a sebészeti szimulációban vagy akár az oktatásban az orvosi egyetemeken.

A virtuális valóság első négy legfontosabb felhasználási területe az orvostudományban a következő:

– Tanítás az orvostudományban:

A legnagyobb szakorientált vállalatok már létrehozta és használnak hasonló szoftvereket 360°-os videó vagy 3D-s szimuláció formájában, interaktív elemekkel a diákjaik számára. Ezekkel a szoftverekkel kockázatmentes környezetben gyakorolhatnak életmentő módszereket (pl. elsősegélynyújtás vagy sebészet).

– Diagnosztika:

A VR diagnosztikai célokra is alkalmas, ahol az MRI-/CT-vizsgálat kombinációjával az orvosok könnyedén, fájdalom nélkül tudják megvizsgálni a beteget.

- A mentális betegségek kezelése:

Az expozíciós terápia a mentális betegségek egyik szokásos kezelési módja. A virtuális valóság egy rugalmas, olcsó és alacsony kockázatú módszer, amely lehetőséget ad arra, hogy egy olyan helyet hozzunk létre, ahol ellazulhatunk, ezáltal segítve a szorongás és a pánikrohamok kezelésében.

- Virtuális valóság a sebészetben:

A hivatásos orvosok a műtétet robotizált eszközökkel végezhetik el. Ez a módszer csökkenti az időt és a műtéti beavatkozások során fellépő komplikációk kockázatát. E technológia segítségével a hivatásos orvosok távolról (internetkapcsolattal) egy másik városból is operálhatnak. Ebben az esetben haptikus kesztyű vagy különböző, például a nyomást mérő szenzorok használatára van szükség.

A VR továbbá használható még a következő területeken: poszttraumás stressz zavarok kezelése, fogászat, ápolás, autizmus kezelése, műtéti szimuláció, fogyatékkal élők rehabilitációja és fóbák kezelése.

#### **2.2.4 Katonai felhasználás**

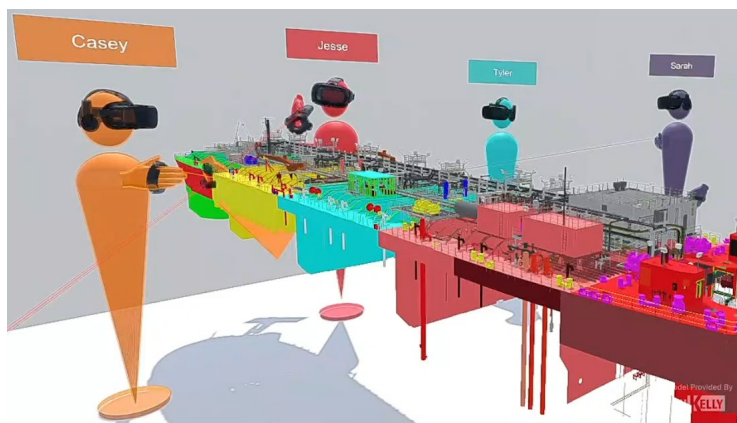
A VR-szemüvegeket a hadseregben is használják. Az Egyesült Államok hadserege már 2015-ben VR-szemüveget használt a DSTS (Dismounted Soldier Training System) katonakiképző rendszerben. Ennek a programnak a segítségével egy hordozható rendszert hoztak létre, amellyel a katonák különböző körülmények között tesztelheték tapasztalataikat. Ezeknek a technológiáknak a minőségét tovább lehet még javítani haptikus ruhákkal és jó minőségű fejhallgatók használatával. [14]

## 2.2.5 Ipari felhasználás

[15] A hétköznapi felhasználók ritkán találkoznak ipari felhasználással, ezzel szemben az utóbbi években e tekintetben is sokat fejlődött a VR-technológia. Megjelent az építészetben, a összeszerelési leírásokban, a modellezésben, a szimulációkban vagy az automatizálásban is. Ezt a felhasználást a következő sorokkal jellemezném:

– Építészeti bemutató

Maga az épületmodellezés nem egyszerűbb a VR-ben, de ez a platform magasabb szintű betekintési lehetőséget biztosít az új vagy felújított épületek terveinek bemutatására. Bemutathatjuk 360°-os panoráma formájában egy telefon segítségével, vagy akár teljes virtuális valóság formájában egy számítógép használatával. A 360°-os panorámához használhatjuk például az Autodesk Rendering, az Enscape, a Lumion vagy a V-ray programokat. A teljes élmény átadására alkalmas pl. az IrisVR és az Enscape szoftver. Az IrisVR (lásd. Ábra. 9) inkább a részletes építészeti tervek csoportos bemutatására alkalmas, ezzel szemben az Enscape (lásd. Ábra. 10) inkább kezdők számára ajánlott.



Ábra 9: VR használata építészeti tervek számára – IrisVR [16]



Ábra 10: Egy ipari iskola vizualizációja – Enscape

– Modellezés és művészet

A modellezés segítségével létrehozhatunk 3D modelleket, vázlatot, festményt, szobrot vagy animációkat is.

A 3D modellek létrehozására alkalmas szoftverek pl. Tilt Brush, Gravity Sketch (lásd. Ábra. 11) vagy a SculptVR.



Ábra 11: VR használata modellezéshez – Gravity Sketch [17]

A Painting VR szoftver alkalmas 2D-s műalkotások létrehozására (lásd. Ábra. 12) akár csak a Kingspray Graffiti (lásd. Ábra. 12). A Kingspray Graffiti egy olyan szoftver, amellyel graffitiket készíthetünk alagút vagy egy vasúti kocsni falára, anélkül, hogy magántulajdonokat rongálnánk meg.



Ábra 12: VR használata festéshez – Painting VR [18] és graffitihez – Kingspray Graffiti [19]

– Automatizálás/szimuláció

Az elmúlt években a nagyvállalatok is bevezették a VR-technológiával kompatibilis szoftverek alkalmazását. Ezen a területen a legelterjedtebb felhasználás a különböző cégek robotautomatizálásának bemutatása volt, amelyeket nagyobb gyártósorokon használnak, esetleges ember-robot együttműködéssel. Az automatizálás bemutatására használt szoftverek alkalmasak a robotkód futtatására vagy azt saját maguk is létre tudják hozni. Részletesebb leírásért lásd fejezet 3.3.

## 2.3 Leggyakrabban használt VR-szemüvegek

Jelenleg a kereskedelmi forgalomban elérhető VR-szemüvegmodellek választéka korlátozott, de 2023-24-es évben több új VR- és XR-szemüveg is piacra fog kerülni. A felmérés szerint (Ábra. 13) a Steam VR-felhasználók köréből (a PCVR-szemüvegek futtatására szolgáló platform) megtekinthetjük a leggyakrabban használt szemüvegeket az iparágban.

|                              |        |        |
|------------------------------|--------|--------|
| Oculus Quest 2               | 41.95% | +0.93% |
| Valve Index HMD              | 19.20% | -0.83% |
| Oculus Rift S                | 11.31% | -0.55% |
| HTC Vive                     | 6.09%  | -0.16% |
| Windows Mixed Reality        | 5.47%  | -0.10% |
| Oculus Rift                  | 5.24%  | -0.39% |
| Pico 4                       | 2.19%  | +0.65% |
| Oculus Quest                 | 1.95%  | +0.02% |
| HTC Vive Pro                 | 1.38%  | -0.05% |
| HTC Vive Cosmos              | 1.04%  | +0.16% |
| HTC Vive Pro 2               | 0.81%  | +0.01% |
| Pico Neo 3                   | 0.71%  | +0.19% |
| Meta Quest Pro               | 0.39%  | +0.08% |
| Riftcat Vridge               | 0.30%  | +0.02% |
| Pimax 8K                     | 0.15%  | -0.01% |
| Sony PlayStation VR          | 0.07%  | -0.00% |
| Pimax 5K Plus                | 0.06%  | -0.01% |
| Iriun VR                     | 0.04%  | +0.00% |
| DPVR E4                      | 0.04%  | +0.00% |
| Oculus Rift DK2              | 0.03%  | -0.02% |
| Pico Neo 2                   | 0.03%  | +0.01% |
| Oculus Rift DK1              | 0.03%  | +0.01% |
| Pimax Artisan                | 0.01%  | +0.01% |
| Other                        | 1.50%  | +0.04% |
| Steam users with VR Headsets | 1.92%  | -0.01% |

Ábra 13: A leggyakrabban használt VR-szemüvegek Steam platform alapján [20]

A mai, kereskedelmi célú virtuálisvalóság-szemüvegek nagyon hasonlóak, de néhány dologban eltérnek, ilyen például a kijelzők technológiája, ami befolyásolja a kép felbontását, a reakcióidő és a headset mérete (súlya). Egyes headsetek az irányítást a kontrollerek mozgásának lekövetésével érik el, ehhez headsetbe épített kamerákat (mint például a Meta Quest 2) vagy külső érzékelőket (mint például a Playstation VR és a HTC Vive) alkalmaznak. Napjainkban a gesztusvezérlésre szolgáló kézkövetés (mint a Meta Quest 2 és a Pimax 8K) is nagyon elterjedt.

A headseatek felhasználásuk szerint különböző típusokra oszthatók. Némelyek úgy működnek, hogy közvetlenül a számítógéphez csatlakoznak (PCVR). Ebbe a csoportba tartozik a legtöbb. Vannak olyan headsetek is, amelyek számítógép nélkül is használhatók. Ezeket all-in-one VR vagy Standalone headseteknek nevezzük. A Standalone változat általában erősebb telefonos (kompaktabb) processzorokat és Android operációs rendszert használ.

A 13. Ábra szerint ki lehet jelenteni, hogy a felhasználók legnagyobb százaléka „Meta” (korábban Oculus) Quest 2-t használ, számszerűen 41,95%, az összes VR-szemüveg 60,9%-át pedig az Oculus által gyártott termékek (2012-2022) teszik ki.

A VRcompare oldal segítségével összehasonlíthatjuk a szemüvegek legfőbb tulajdonságait, amelyek aláhúzással emeltem ki a Tab. 1-ben. A VR-szemüvegek legfontosabb jellemzői, amelyek alapján kategorizálhatjuk őket a következők: ár, típus, AR-funkció, képernyőfrissítés, FoV, súly, mennyire kompakt, irányítás és a képernyőmegosztás lehetősége.

| Szemüvegek                            | Meta Quest 2                                  | Valve Index                         | HTC Vive            | Pico 4                              | Pimax 8KX             |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Gyártó                                | <a href="#">Oculus</a>                        | <a href="#">Valve</a>               | <a href="#">HTC</a> | <a href="#">Pico</a>                | <a href="#">Pimax</a> |
| Ár<br>kontrollerrel<br>és érzékelővel | <u>128 GB:399 \$</u><br><u>256 GB: 499 \$</u> | 999 \$                              | \$799 \$            | 430 \$                              | 1,849 \$              |
| Típus                                 | <u>Standalone VR</u>                          | PCVR                                | PCVR                | <u>Standalone VR</u>                | PCVR                  |
| AR<br>felhasználás                    | feke-te-fehér<br>átlátszóság                  | <u>színes</u><br><u>átlátszóság</u> | -                   | <u>színes</u><br><u>átlátszóság</u> | -                     |
| Képernyő-<br>frissítés [Hz]           | <u>120 Hz</u>                                 | <u>144 Hz</u>                       | 90 Hz               | 90 Hz                               | 115 Hz                |
| Felbontás 1<br>szemre                 | 1832x1920                                     | 1440x1600                           | 1080x1200           | 2160x2160                           | <u>3840x2160</u>      |
| FoV [°]<br>(hor./vert.)               | 97/93                                         | 108/104                             | 108/97              | 105<br>diagonálisan                 | <u>159/103</u>        |
| Méretek [mm]                          | <u>191.5 x 102</u><br><u>x 142.5</u>          | Ismeretlen                          | 190 x 117<br>x 140  | Ismeretlen                          | 280 x 108<br>x 136    |
| Kézi vezérlés<br>gesztusokkal         | ++                                            | -                                   | -                   | +                                   | -                     |
| Szemüveg<br>tömege [g]                | <u>503</u>                                    | 809                                 | <u>470</u>          | 586                                 | 850                   |
| WiFi                                  | WiFi 6                                        | -                                   | -                   | WiFi 6                              | -                     |

Táblázat 1: Leggyakrabban használt VR szemüvegek a piacon és tulajdonságaik [21]

Az összehasonlító táblázat (Tab. 1) alapján elmondható, hogy a képernyő - tulajdonságok alapján a Pimax 8KX a legjobb, amely a professzionális kategóriába tartozik. A teljesítményhez viszonyított ár szerint az Oculus (Meta) Quest 2 a legjobb, amely inkább a mindennapi használatra alkalmasabb. Habár maga a szemüveg olcsó, de meg kell még említeni, hogy a felhasználók gyakran vásárolnak hozzá bővítményeket olyan cégektől, mint pl. a Kiwi vagy a BoboVR.

## 2.4 A virtuálisvalóság-élmény minőségének javítása

A közelmúltban már születtek kísérletek és kutatások az emberi ízlelés és szaglás szimulálására, de ezek a kísérletek inkább a technológia demonstrálására szolgálnak, és nem alkalmasak mindennapi használatra. Általában külső mozgásérzékelőket használnak a mozgáskövetéshez, vagy haptikus ruhákat az impulzus átadásra. A korábban említett mozgásérzékelők alkalmasak lehetnek a test pozíciójának lekövetésére, vagy akár objektumkövetésre is a VR-ban.

Ezekből az eszközökből egybe kivitel is létezik, általában „trackerek” nevezzük őket. Ezek közül a megoldások közül néhány nyílt forráskódú projekt (pl. SliemeVR és AprilTag), néhány közvetlenül egy erre szakosodott cégtől származik (pl. Tundra és DecaMove), és vannak olyanok, amelyek egy VR-szemüveget is gyártó cégtől származnak (pl. HTC Tracker v3).

|                            | SlimeVR             | Vive                      | Tundra                    | AprilTag                   | Ametiszt                 | HaritoraX                           |
|----------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Fejlesztő                  | SlimeVR             | HTC                       | Tundra                    | Ju1ce, DIY                 | K2VR csapat              | Shiftall                            |
| Form. faktor               | 5x 50 g-os érzékelő | 3x 75 g-os érzékelő       | 3x 50 g-os érzékelő       | QR-kódok + központi kamera | központi kamera          | 5 kábellel csatlakoztatott érzékelő |
| Az akkumulátor élettartama | 15 h                | 7,5 h                     | 7 h                       | akkumulátor nélkül         | akkumulátor nélkül       | 10 h                                |
| Speciális technológia      | Nem (WiFi)          | SteamVR Lighthouse        | SteamVR Lighthouse        | Kamera                     | Kinect                   | Nem (Bluetooth)                     |
| Ütközésre hajlamos         | Nem                 | Igen                      | Igen                      | Igen                       | Igen                     | Nem                                 |
| Lefedettségi szög          | 360°                | 360°                      | 360°                      | 360°                       | 360°                     | 360°                                |
| Pontosság                  | 1-10 cm             | < 1 mm                    | < 1 mm                    | < 1 cm                     | 1-10 cm                  | 1-10 cm                             |
| Késés                      | ~15 ms              | ~15 ms                    | ~15 ms                    | 30+ ms                     | ~20 ms                   | >15 ms                              |
| Frissítési sebesség        | 100 Hz              | 90-144 Hz                 | 90-144 Hz                 | A kamera képfrissítése     | 30 Hz                    | 50-100 Hz                           |
| Terjedelem                 | Wi-Fi lefedettség   | 10 m                      | 10 m                      | 2-3 m                      | 2-4 m                    | Bluetooth-lefedettség               |
| Objektumkövetés            | Nem                 | Igen                      | Igen                      | Igen                       | Nem                      | Nem                                 |
| Nyílt forráskód            | SW + HW             | Nem                       | Nem                       | SW + HW                    | SW                       | Nem                                 |
| Ár                         | \$165               | \$390 + ~\$400 Lighthouse | \$360 + ~\$400 Lighthouse | 3D nyomtató + kamera       | ~ \$30 (használt Kinect) | \$270                               |

Táblázat 2: A legnépszerűbb mozgáskövető érzékelők jellemzői [22]

A Tab. 2 alapján kijelenthetjük, hogy a kezdők számára, akik könnyen konfigurálható érzékelőt szeretnének a Tundra a legjobb döntés. Haladóbb felhasználók számára, a SlimeVR mozgásérzékelő a legmegfelelőbb, amely egy nyílt forráskódú projekt, és mi magunk is előállíthatjuk őket (emiat olcsóbb és biztonságosabb).

A valós mozgás VR-ba való átviteléhez a felhasználóknak három technológia áll rendelkezésükre: omnifutópad (KAT Walk C), ülés közbeni lábmozgatás (CyberShoes) és csípőirányításos megoldás (DecaMove).

## 3 IPARI ROBOTOK SZIMULÁCIÓJA

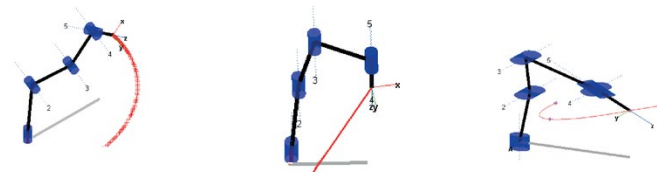
### 3.1 Alapvető információk az ipari robotokról

Minden robottípusnak megvan a maga kinematikája, amely meghatározza a robot mozgó elemeinek szög alatti elhelyezkedését és bemozdulását a szükséges szerszámpozíció eléréséhez. Az ezeket meghatározó egyenleteket trigonometriára épülő módszerrel kapjuk. Ennek segítségével megkapjuk a robot úgynevezett inverz kinematikáját.

Ezeknek az egyenleteknek a bonyolultsága a robot szabadságfokainak számától függ. A kinematikájuk alapján a összetettebb robotokat minimálisan a következő csoportokra oszthatjuk: Descartes-féle koordináta-rendszer (cartesian), delta, könyökös, SCARA, poláris és hengeres robotok (léteznek még más egyszerűbb, 1, 2, 3 szabadsági fokú mechanizmusok is, leggyakrabban mozgó csúszókötések – pl. szállítószalagok).

Egy ipari robot programozásához több koordináta-rendszer is alkalmas, amelyekkel könnyebben meghatározhatjuk a szerszámközpontot (TCP), vagy megtudhatjuk egy félkész termék méreteit. A Descartes-féle koordináta-rendszerben a leggyakrabban használt koordináta-rendszerek a következők: világ- (world), robot- (robot), munkadarab- (base) és szerszámkoordináta-rendszer (tool).

A robotok 3 módszert használhatnak a kívánt pozíció, az úgynevezett referenciapont eléréséhez: lineáris, könyök interpoláció és íves (lásd. Ábra. 14).



Ábra 14: A robot mozgásának alapvető típusai [23]

### 3.2 A robot mozgásának alapvető típusai [23]

Az automatizálás számítógépes szimulációjának 6 fő oka a következő:

- a folyamat vizualizálása,
- pontos ciklussebesség,
- a pozíció elérhetősége,
- felhasználói biztonság,
- A/B elhelyezkedés tesztelése,
- a robot munkaciklusa.

Az automatizáláshoz speciális ipari szoftverek használata ajánlott. Ilyen szoftverek közvetlenül az ipari robotok gyártóitól (pl. Epson, ABB) is beszerezhetők, illetve léteznek olyan multifunkcionális szoftverek is, amelyek kompatibilisek a különböző gyártók ipari robotjaival. Ezek a szoftverek inkább olyan vállalatok számára alkalmasak, amelyek egy nagyobb gyártósoron belül több különböző gyártótól származó robotot használnak (pl. RoboDK, Visual Components). Speciális esetekben használhatunk szimulációs szoftvereket is interaktív elemek (pl. SimlabComposer) vagy játékmotorok (pl. Unity, Unreal Engine) létrehozására.

Az ipari szoftverprogramok általában rendelkeznek a leggyakrabban használt ipari robotok kinematikával ellátott könyvtárakkal. Ezzel szemben a speciális szoftverek esetében a kinematikai egyenleteket magunknak kell meghatározni és implementálni.

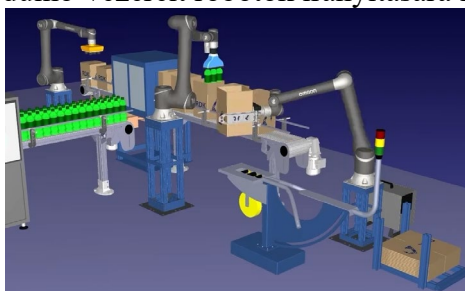
### 3.3 Útmutató a különböző automatizációs szoftverek felhasználásához

Azokban az esetekben, amelyekben nagyobb, emberi erőforrással együttműködő gyártósorral dolgoznak, meg kell határozni az időt, a hatékonyságot, a költségeket és a dokumentációt is biztosítani kell, a Visual Components egy jó választás lehet (lásd. Ábra. 15). Ez a szoftver inkább nagyobb vállalatok számára alkalmas, ahol ezáltal képesek lehetnek kihasználni a gépek teljes potenciálját.



Ábra 15: Automatizálás a Visual Components szoftverben [24]

Abban az esetben, ha csak egy kisebb automatizálást szeretnénk megvalósítani egy kisebb vállalat számára, a RoboDK is jó választás lehet (lásd. Ábra. 16), amely egyszerű grafikus felülettel rendelkezik, és számos oktatóvideót biztosít a kezdők számára. Ez a szoftver Arduino-vezérelt robotok irányítására is alkalmas.



Ábra 16: Automatizálás a RoboDK szoftverben [25]

Amennyiben több interakcióra és kevesebb automatizálásra van szükség, a Simlab Composer is jó választás, mivel számos modellezőszoftverrel kompatibilis, mint például a Sketchup, Fusion 360, Maya vagy Rhino programokkal. Programozási ismeretek nélkül is képes az animációk létrehozására és a szilárdtestek közötti interakciókra.

A szoftver ára is nagyon fontos tényező, amit a következő táblázatban tekinthetünk meg (Tab. 3).

| Szoftver                   | Ár diákoknak                                   | Ár minden felhasználó számára    |
|----------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------|
| roboDK                     | 30 nap – ingyenes<br>2 év – 145,00 €           | korlátozás nélkül - 3995 €       |
| Visual Components          | 30 nap – ingyenes<br>2 év – határozatlan időre | 1 év - határozatlan időre        |
| Simlab Composer            | 30 nap + 1 év ingyenes                         | 1 év - 705 €                     |
| Unity + Unity-Robotics-Hub | korlátozások nélkül –<br>ingyenesen            | korlátozások nélkül - ingyenesen |

Táblázat 3: A legnépszerűbb automatizálási szoftverek árai [26-30]

## 4 SAJÁT MEGOLDÁS

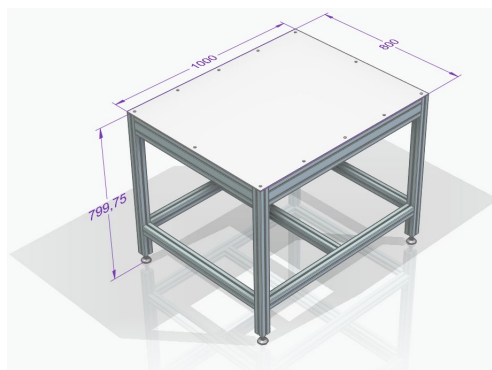
### 4.1 Alapvető információk a projektről

A projekt fő célja az volt, hogy létrehozzuk egy és két SCARA robot automatizálásának szimulációit (animációt) a virtuális valóságban, aktív és interaktív elemekkel, a valós roboton történő kód futtatás lehetőségével. Fontos volt az is, hogy az automatizálás ütközés nélkül működjön, és a lehető legközelebb álljon a valós folyamathoz, hogy a lehető legélethűbb legyen.

#### Előre meghatározott modellek és szerszámok adatai

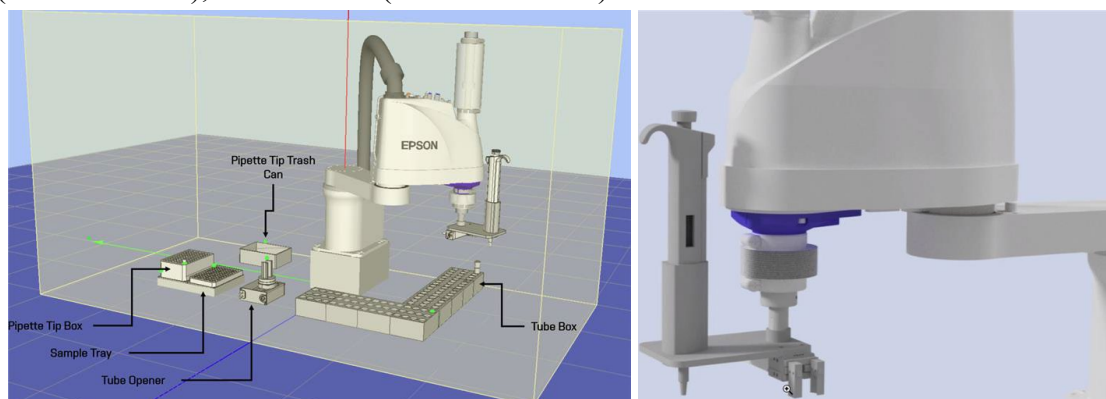
A feladat kezdetén meghatározták a felhasznált modellek pontos típusait, például a robot, a szerszám, a szekrény típusát (egy robot esetében) és az asztal 3D-s modelljét (két robot esetében):

- szerszám: GILSON PIPETMAN G,
- ipari robot: EPSON SCARA LS3-401S,
- laboratóriumi szekrény: HR1200-IIA2(S) szekrény,
- asztal: 1000x800x800 (b x t x h) - modell lásd Ábra. 17.



Ábra 17: Asztal modellje 2 robothoz

Az további modellek, mint például kémcsövek, kémcsöves dobozok, 2 ujjas befogó (robotszerszám), kémcsőtartó (asztali szerszám) csak illusztráció volt a 18. Ábra szerint.



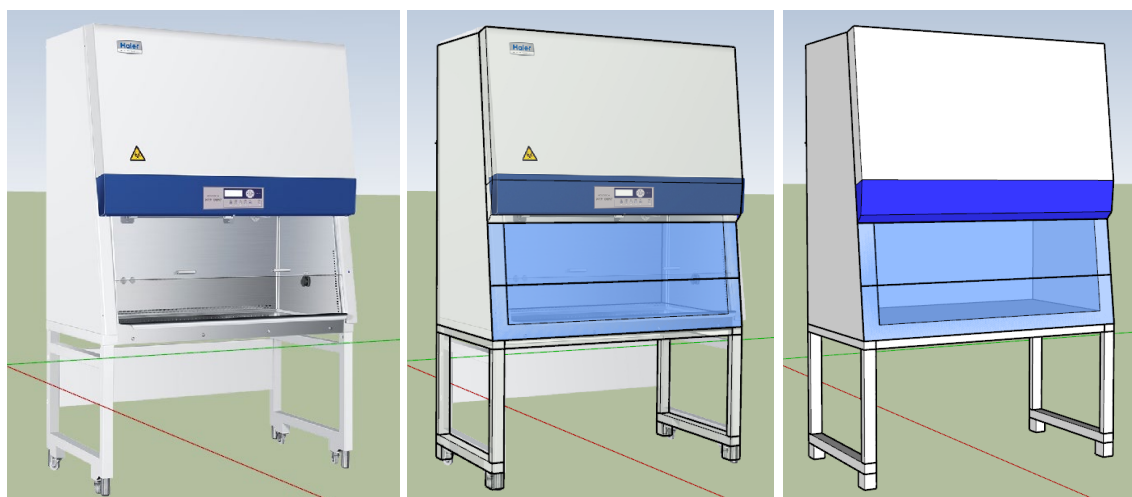
Ábra 18: Illusztrációs képek az automatizálás létrehozásához (szerző: Ing. Adámek Roman)

## 4.2 Komponensmodellezés paraméterek és illusztrációs képek alapján

A modellek elkészítésének kezdetén kiderült, hogy a legnagyobb modell, amely a megfelelő és valósághű automatizáláshoz szükséges, a laboratóriumi szekrény modellje, amelyet a vállalat sajnos nem bocsátott rendelkezésemre. Ezért úgy döntöttem, hogy a rendelkezésre bocsátott adatok (Tab. 4) és az illusztrációs kép (lásd Ábra. 18) alapján hozok létre egy modellt. A képet a SketchUp szoftverbe importáltam, amely támogatja a modell képből történő létrehozásának lehetőségét a „photo match” funkció segítségével. Ez egy olyan perspektívaábrázolással dolgozik, ahol az összes párhuzamos él meghosszabbítása véges távolságban egy azonos a pontban találkozik. A modell ezen a módon történő létrehozásához lásd Ábra. 19.

| Típus          | Belső méretek<br>(b × t × h)<br>[mm] | Külső méretek<br>(b × t × h)<br>[mm] | Legnagyobb<br>méretek<br>(b × t × h)<br>[mm] | Állítható<br>magasságú láb<br>[mm] |
|----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|
| HR1200-IIA2(S) | 1220x620x670                         | 1380x780x1390                        | 1470x920x1690                                | 680-900                            |

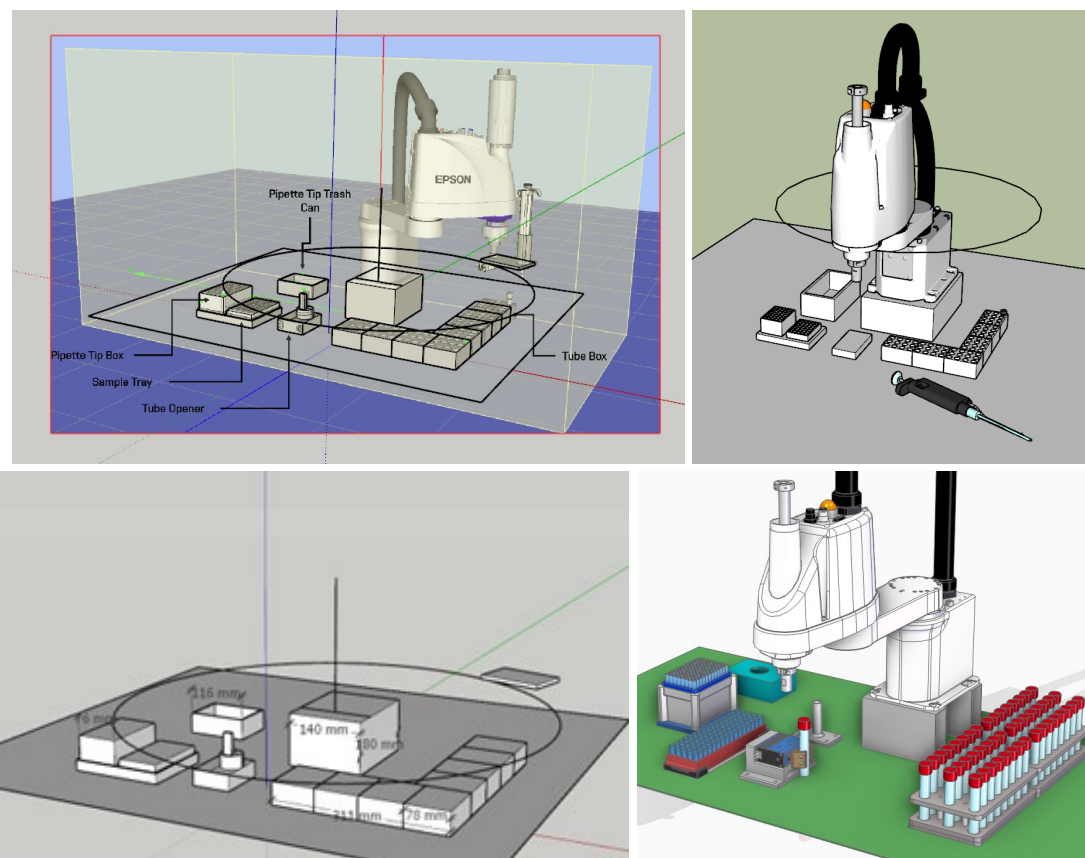
Táblázat 4: A HR1200-IIA2(S) szekrény méretei [31]



Ábra 19 Lab. szekrény létrehozásának menete a SketchUp-ban

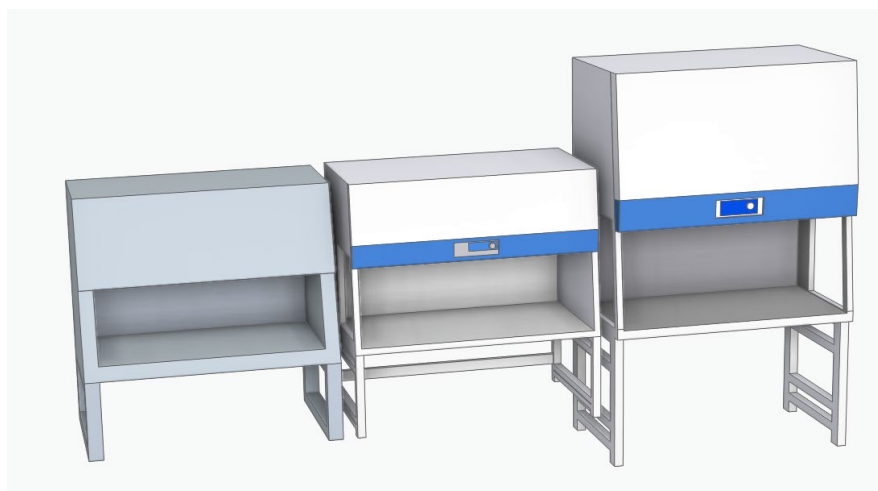
Második lépésként hasonlóképpen létrehoztam a dobozokat, csöveket, állványokat és a csőtartót. Az eljáráshoz lásd. Ábra. 20. A Sketchup szoftverben történő modellezés után a méreteket megmértem és lekerekítettem. Ezt követően létrehoztam ezeket a modelleket a Solid Edge professzionális környezetében. Ennek oka az volt, hogy a SketchUp ugyan létrehoz modelleket, de ezek a modellek STL formátumúak, vagyis csak felületi (sztereolitográfiai) modellek, amelyeket parametrikusan nem könnyű korrigálni.

Ezek a modellméretek pontatlanok voltak, de az automatizálás megkezdéséhez megfelelő kezdeti modelleknek bizonyultak. Ebben a projektben gyakran előfordult, hogy a csőtartó, a kétujjas gripper, a pipetta vagy a cső modelljét ki kellett cserélni, ezért a modellek és az automatizálás minősége idővel nőtt.



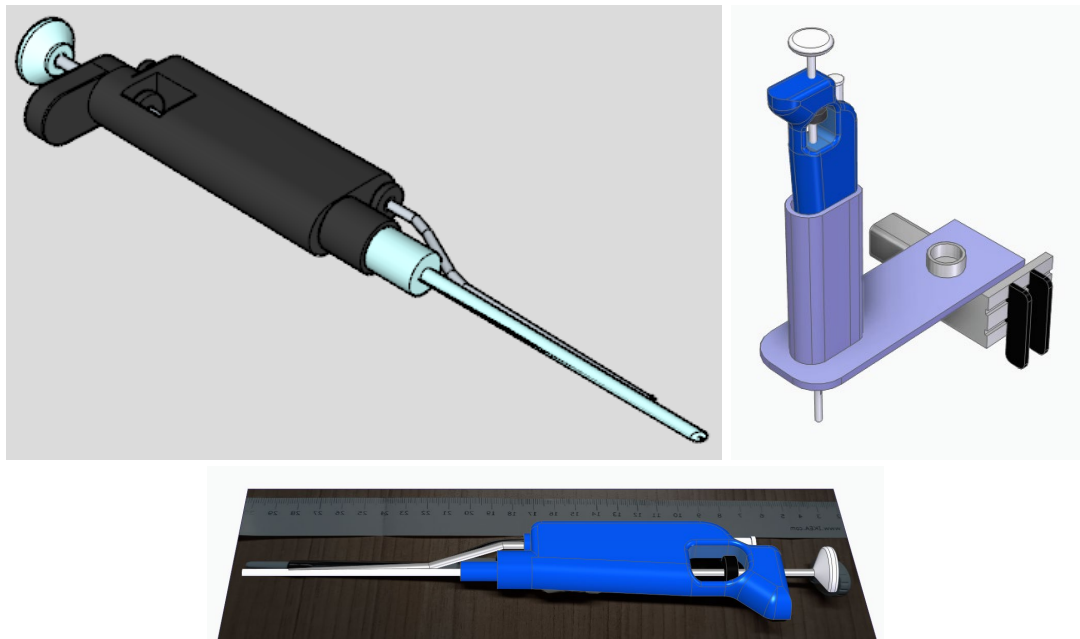
Ábra 20: A környezet első változatának elkészítési folyamata fotogeometria alkalmazásával (SketchUp és Solid Edge)

Egy idő után, amikor a robot, a szekrény, a kémcsövek és a hozzájuk tartozó kémcsöves dobozok a valóságban is rendelkezésre álltak, már lehetőségem volt a modellek megmérésére. Megállapítottam, hogy a szekrény valós méretei arányaiban eltértek az illusztrációtól és a paraméteradatoktól (lásd. Ábra. 21 a Tab. 4). Ezt követően a doboz és a további modellek pontossága is növekedett.



Ábra 21: Az illusztráció (bal oldali 2) és a mérés (jobb oldali) szerint készített modell közötti különbség

A pipetta modellezésénél az eszköz egyszerű hengeres alakját és szimmetriáját használtam fel. A fenti fotó alapján elkészült a modell első változata, amely alakját és méreteit tekintve nagyon közel állt a valósághoz. Ennek felhasználásával lett létrehozva egy illusztrációs tartó és egy gripper a pipetta köré (lásd. Ábra. 22).

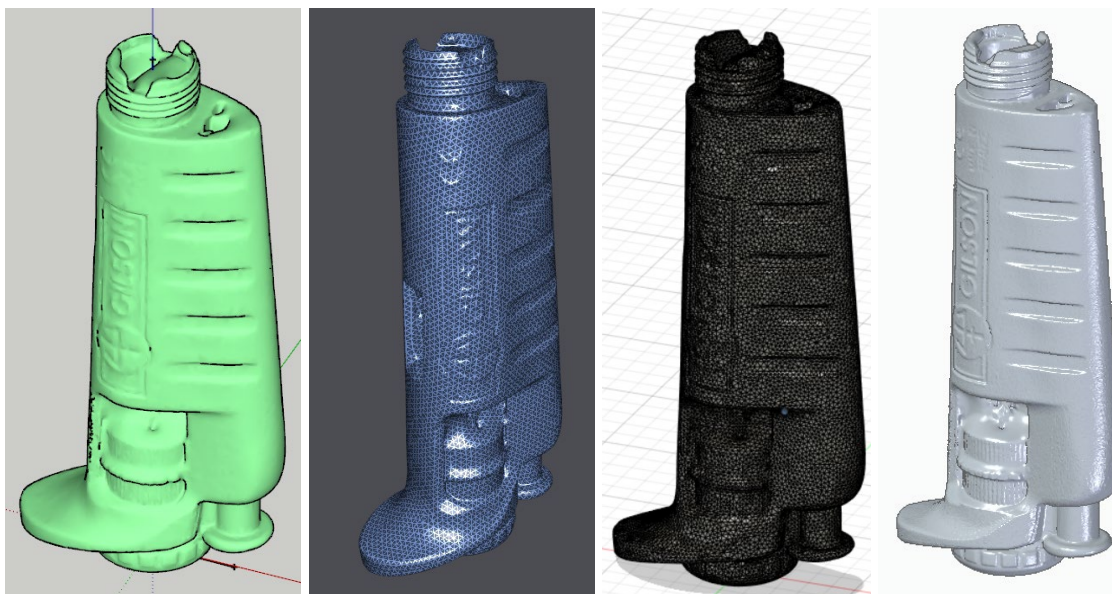


*Ábra 22: A kézi pipettamodell elkészítése az ábra szerint (bal oldalt Sketchup, alul Solid Edge) és a pipettatartó (jobb oldalt)*

Idővel a pipettáról 3D-s szkenneléseket is végeztem, ami biztosította a modellünk pontosságát. Ez a modell STL formátumban jött létre, ugyanabban a formátumban, amelyet a SketchUp is használ. A szkennelt modell adott volt, így ennek a folyamatnak a leírásával a továbbiakban nem foglalkozunk. A modell feljavításának első lépéseként megtörtént annak importálása, a poligonok redukálása és a helyes koordináta-rendszer beállítása.

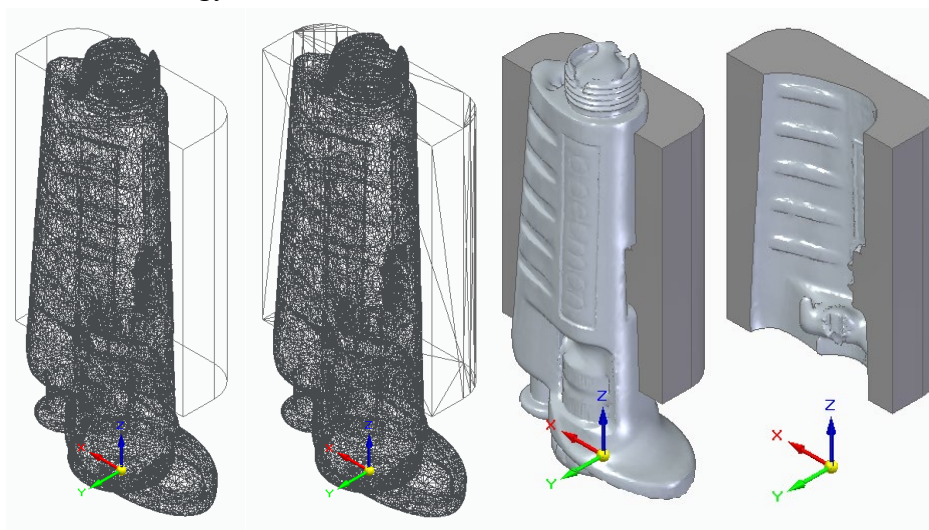
A Skimp plugin segítségével beimportáltam a modellt a SketchUp szoftverbe, ahol a poligonok számát 40 000-re csökkentettem. Ezután a modell hengeres részeinek középpontját az 1001bittool pro plugin segítségével meghatároztam. Ily módon egy egyenes tengelyvonalat rajzoltam meg, ennek beforgatásával elértem, hogy a modell tengelyei megegyezzenek a modelltér tengelyeivel.

A második lépésben az Instant meshes nyílt forráskódú programot használtam, amely csökkentette a szingularitások számát, és tovább csökkentette a poligonok számát ötezerre. Utolsó lépésként a Fusion 360 szoftvert használtam. Ez kijavította a lyukakat (amelyeket az export okozott), és a sztereolitográfiai modellből (.stl) egy szolid modellt (.step) hozott létre, amelyet már könnyű volt szerkeszteni (lásd Ábra. 23).



Ábra 23: Pipettamodell javítási eljárása, balról jobbra: Sketchup, Instant Meshes, Fusion 360 és Solid Edge

Ez a 3D-szkennel modell lehetőséget adott arra, hogy a pipetta negatívjából elkészítsem annak tartóját. Habár az én feladatom ebben a szakaszban az volt, hogy a modellt visszaalakítsam szilárd, térfogattal rendelkező testté, de megpróbálkoztam annak STL-moddellel való elkészítésével is. Ennek a folyamatát megtekinthetjük a következő képsorban, lásd Ábra 23.1. A tartót, mint szilárd testet hoztam létre, majd átalakítottam hálómoddellé, amiből egyszerűen el tudtam távolítani a szkennelt testet.

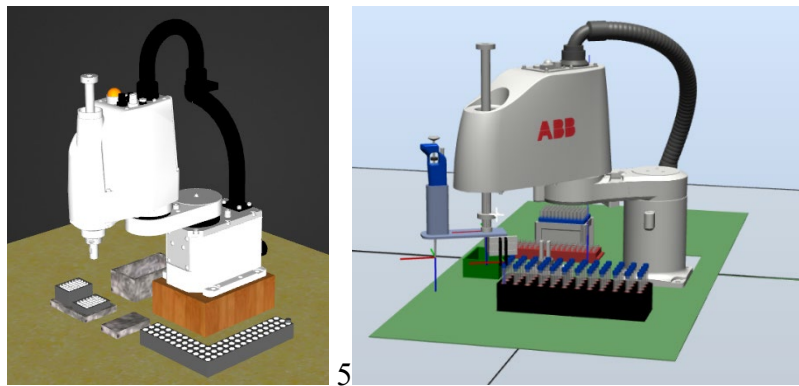


Ábra 23.1: Pipettatartó negatívjának az elkészítésének a folyamata (Solid Edge)

### 4.3 A megfelelő szimulációs szoftver kiválasztása

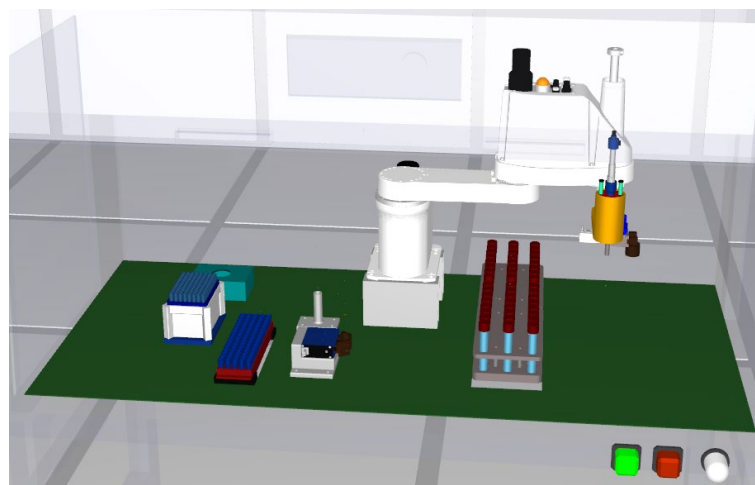
Kezdként, az első automatizálási próbálkozásomat a SimlabComposer szoftverben hoztam létre (lásd. Ábra. 24). A forgási és csúszási kényszerek beállítása után a pályakövetés algoritmusát futtattam le. Rögtön az elején kiderült, hogy a szoftver nem tudja kezelni a robot 4°-os szabadsággal történő animációját a pálya mentén.

A felmérés szerint (lásd a 3.3) és a szoftverek alapjainak ismerete alapján az ABB RoboStudio automatizálási szoftverre esett a következő választás, amely sajnos nem rendelkezik kinematikával az Epson SCARA robotokhoz, de beépített lehetőség van új robotok hozzáadására. A szoftverrel való megismerkedést követően egy hasonló paraméterekkel rendelkező ABB IRB 910SC-t használva létrehoztam egy automatizációt (lásd Ábra. 24). Egy idő után kiderült, hogy ez a szoftver elég nehezen konfigurálható új robotokhoz, ezért ezt az automatizálási folyamatot egy másik szoftverben folytattam.



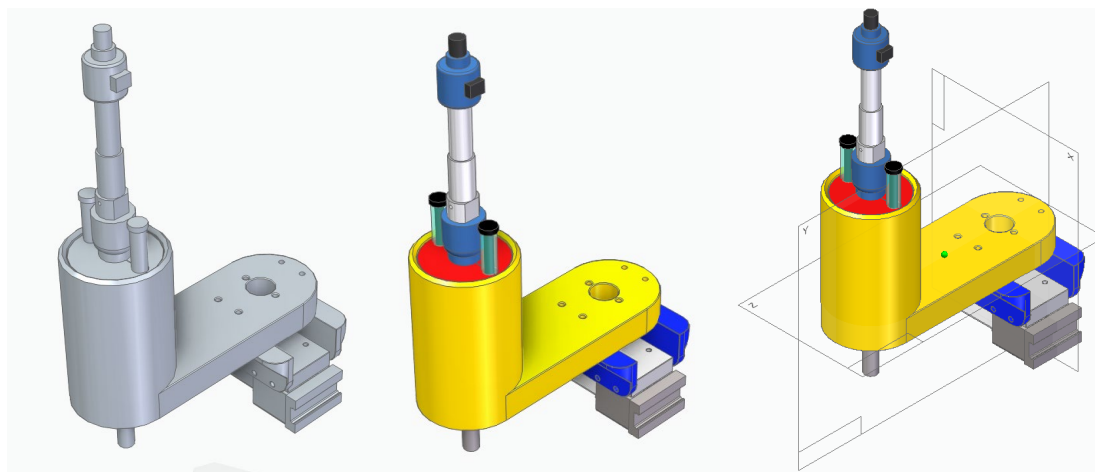
Ábra 24: Első megvalósítások, balra SimlabComposer, jobbra ABB RobotStudio

Harmadik szoftverként a RoboDK-t választottam (lásd Ábra. 25), amely az utolsó és legmegfelelőbb választás lett erre a célra. A cég egyik vezetőjével folytatott rövid megbeszélést követően hosszabb időre szóló ingyenes licencet kaptam erre a szoftverre. Az ABB RobotStudióval ellentétben ez a szoftver rendelkezik több Epson SCARA robot kinematikájával és modelljével egy könyvtárban implementálva, továbbá rendelkezik még egy pluginnal a SolidEdge szoftverből származó modellek egyszerű importálásához. A modellek importálásához a szoftver támogatja az .stl, .obj, .step, .iges és még további más formátumokat. A STEP formátum a legjobb választás az importáláshoz, mert megmaradnak a színek, és könnyen részmodellekre bonthatóak az összeállításokat tartalmazó modellek.



Ábra 25: Modellek a RoboDK szoftverben

A monokróm (szürke) modellek színezésére a Solid Edge szoftvert használtam (lásd. Ábra. 26), hogy valóságosabbnak tűnjenek, valamint még ugyanitt meghatároztam a súlypontjukat és a tehetetlenségi nyomatékukat is (lásd az 27. Ábra). Egyes szoftverekben fontos paraméter lehet a súlypont a szerszámtulajdonságok beállításakor. Ekkor már folyamatban volt az automatizálás létrehozása a gripper + pipetta és a csőtartó új modelljeivel.



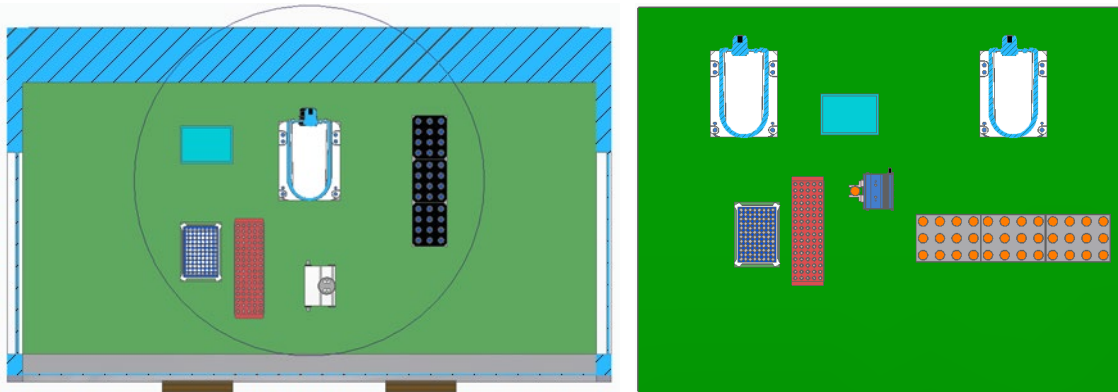
Ábra 26: A modellek színezése és a súlypont (zöld pont) megjelenítése

| Global                                                       |                          | Principal                                         |                            |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| Mass:                                                        | 1.056 kg                 | Volume:                                           | 394664.293 mm <sup>3</sup> |
| Quantity override mass:                                      | 1.056 kg                 | <input type="checkbox"/> Use as the Assembly Mass |                            |
| Center of Mass                                               |                          | Center of Volume                                  |                            |
| <input checked="" type="checkbox"/> Display symbol <b>cm</b> |                          | <input type="checkbox"/> Display symbol <b>cv</b> |                            |
| X:                                                           | -447.61 mm               | X:                                                | -462.52 mm                 |
| Y:                                                           | 179.12 mm                | Y:                                                | 184.64 mm                  |
| Z:                                                           | 3.93 mm                  | Z:                                                | 1.94 mm                    |
| Mass Moments of Inertia                                      |                          |                                                   |                            |
| lxx:                                                         | 0.039 kg·m <sup>2</sup>  | lyy:                                              | 0.215 kg·m <sup>2</sup>    |
| lzz:                                                         | 0.253 kg·m <sup>2</sup>  | lxy:                                              | -0.088 kg·m <sup>2</sup>   |
| lxz:                                                         | -0.002 kg·m <sup>2</sup> | lyz:                                              | 0.001 kg·m <sup>2</sup>    |

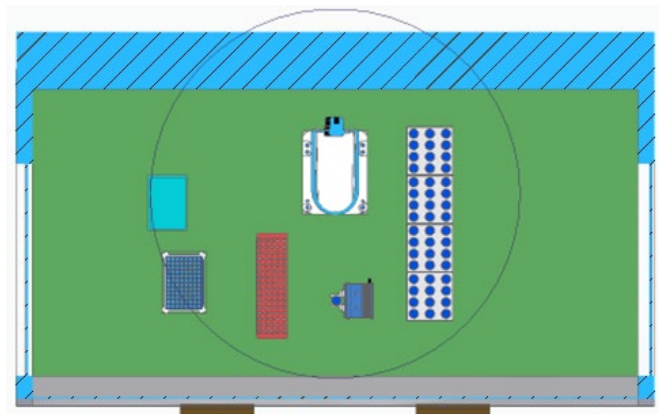
Ábra 27: A tömeg [kg], a tehetetlenségi nyomaték [kg·m<sup>2</sup>] és a tömegpont [mm] számértékének meghatározása

#### 4.4 A modellek elhelyezkedése és változtatásai a különböző iterációkban

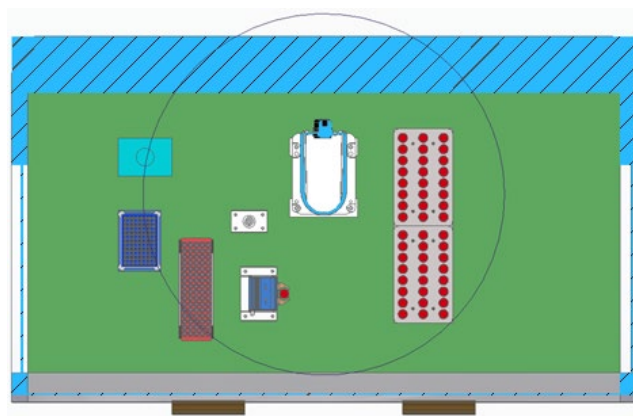
A modellek elrendezését, korrekcióit és színezését mindig a SolidEdge szoftverben hoztam létre, amelyből ezt követően importáltam a RoboDK-ba, így létrehozva a különböző elrendezéseit (iterációkat) (lásd. Ábra. 28, Ábra. 29 a Ábra. 30). A SCARA robot körüli kör a mozgó tengely maximális elérhetőségét jelzi (pipetta nélkül). Sajnos az automatizálás hatékonyságát nehéz megítélni, mert ez függvénye a csövek számának, a robot sebességének és a programozási eljárásnak. A harmadik változatban (lásd Ábra. 30) a csőtartó, illetve a kémcsöves doboz alá egy-egy állvány került, ezáltal elérve, hogy a dugó a lehető legrövidebb útvonalon mozogjon.



Ábra 28: 1. elrendezés



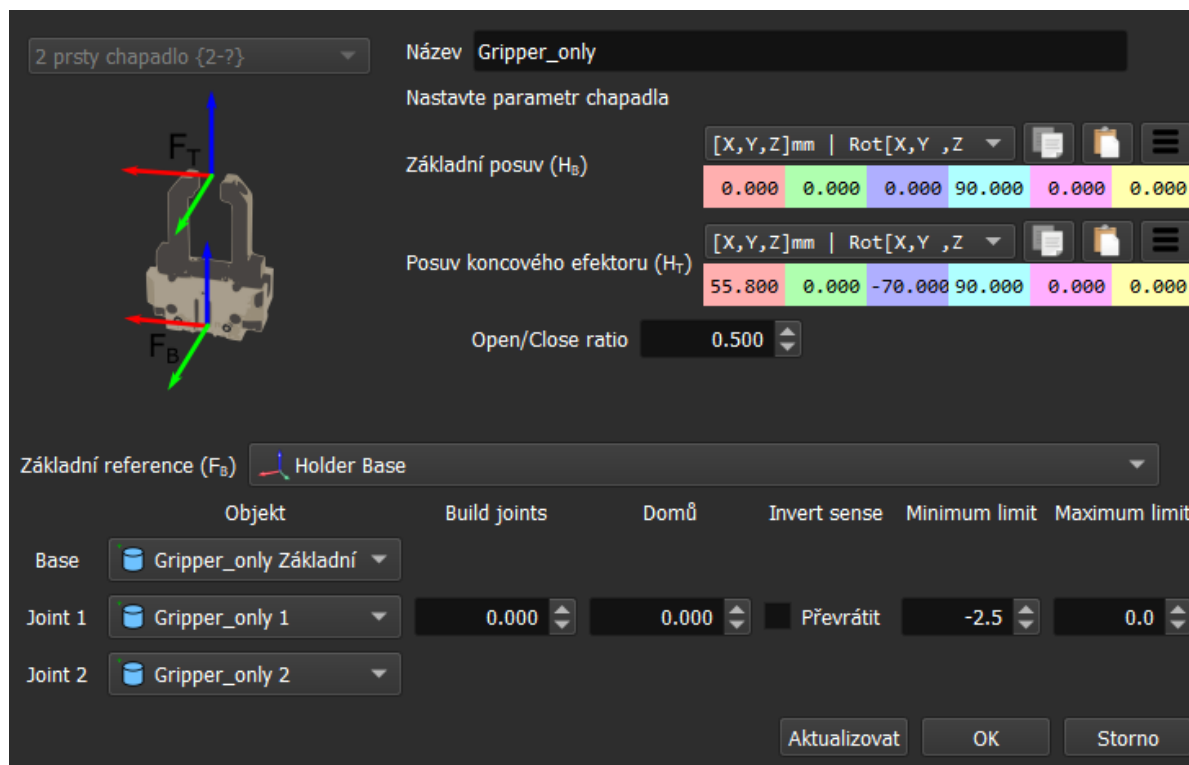
Ábra 29: 2. elrendezés



Ábra 30: 3. elrendezés

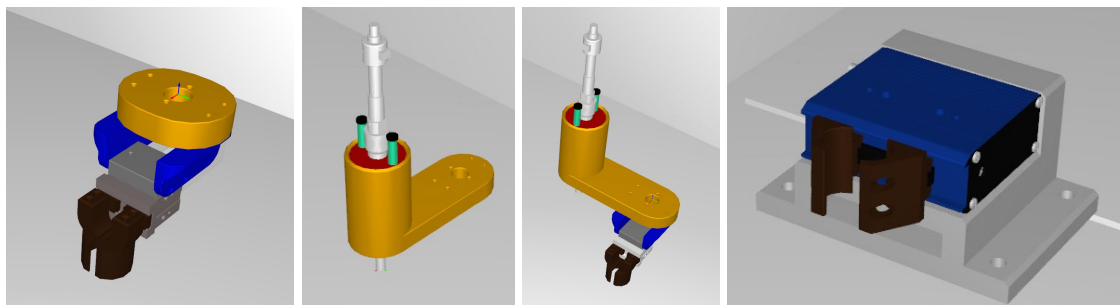
## 4.5 Szerszámok létrehozása a RoboDK-ban

Az automatizáláshoz különböző eszközöket – mechanizmusokat – hoztam létre. A mechanizmusokban beállításra került a szerszám saját koordináta-rendszere, a nem mozgó rész (alap) és a mozgó részek (1. és 2. pofa) (lásd. Ábra. 31)



Ábra 31: Példa egy 2 ujjas gripper paramétereinek beállítására

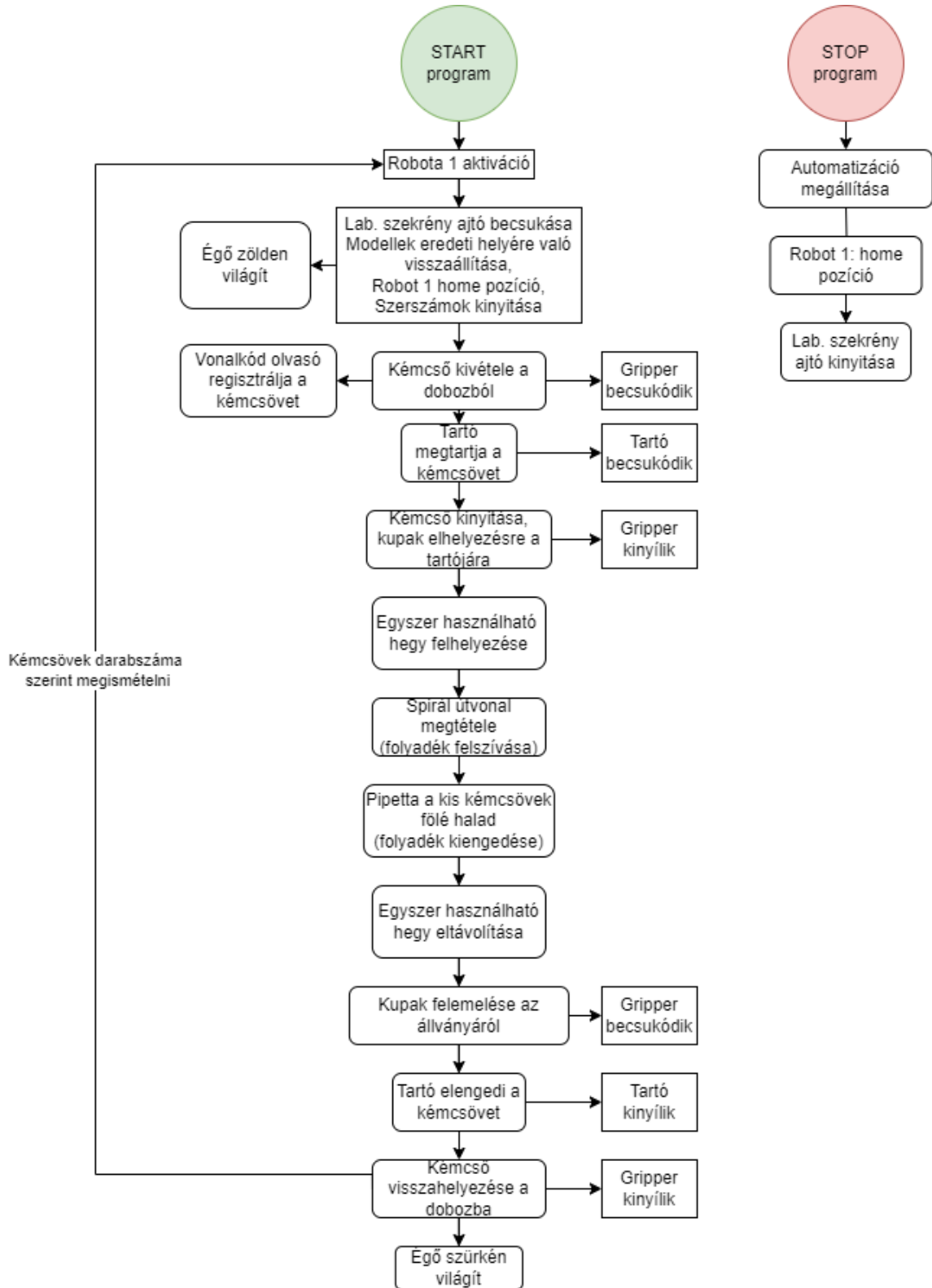
Majdnem mindegyikük 2 ujjas megfogóként (2 ujjas gripperként) volt beállítva. Az egyetlen eszköz, amelyet nem mechanizmusként állítottunk be, egy pipetta volt a 2 robotos kivitelezés számára. A pipetta esetében nincs mozgó alkatrész, így azt közvetlenül egyetlen modellként importálhattuk. A szerszámok a következők (Ábra. 32):



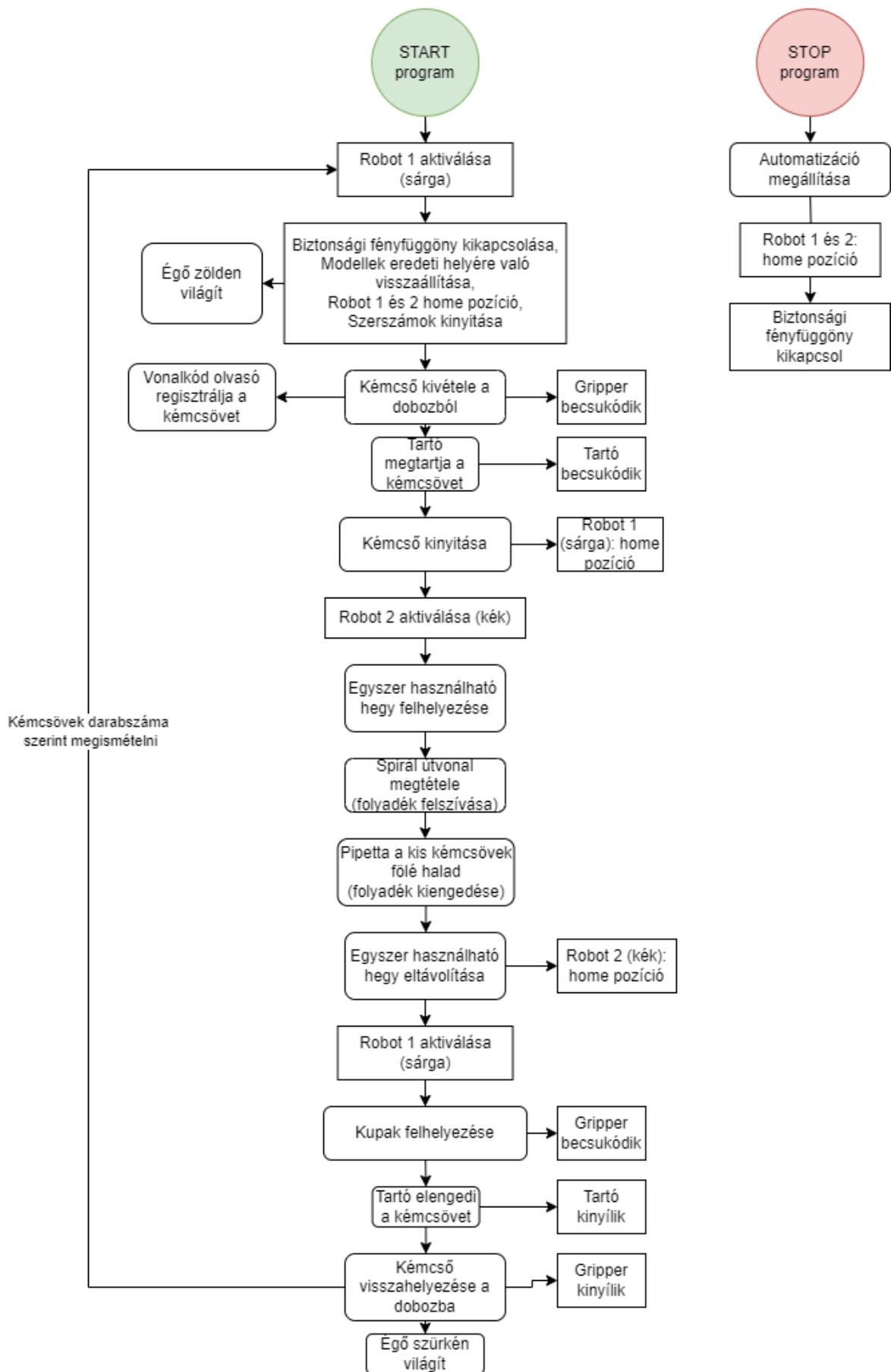
Ábra 32: A műszerek beállítása: gripper, pipetta, pipetta + gripper és a csőtartó

#### 4.6 Automatizálási folyamat egy és két SCARA robothoz

Az automatizáláshoz referenciapontokat hoztam létre, amelyeket a robotnak lineáris, csuklós vagy íves mozgásokkal kellett elérnie. A legfontosabb interakciók automatizálási folyamata a folyamatábra szerint követhető. Ábra. 33 a Ábra. 34.



Ábra 33: Automatizálási folyamat egy SCARA robothoz



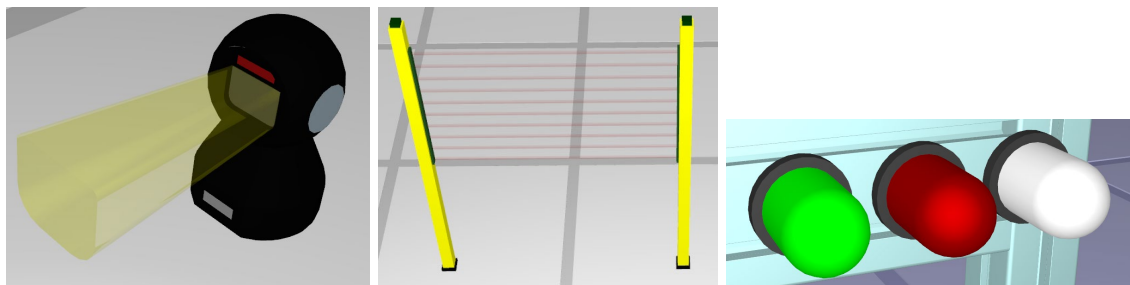
Ábra 34: Automatizálási folyamat két SCARA robothoz

## 4.7 Aktív és interaktív elemek a RoboDK-ban

Ebben a projektben szükség volt interaktív elemek, mint például: gombok és szekrényajtók, valamint aktív elemek, mint például: lámpa, biztonsági fényfüggöny, vonalkódolvasó létrehozására.

Sem a fórumokon, sem a szoftver dokumentációjában nem találtam információt az interaktív elemekről, így erre egy egyéni megoldást hoztam létre. A dokumentáció és saját tapasztalatom szerint többszöri próbálkozás után kiderült, hogy a mechanizmusok az első hozzájuk csatolt programot fogják futtatni, továbbá a programokhoz hozzá lehet adni a modell elrejtését és megjelenítését, a modellpárok összekapcsolását és szétválasztását, valamint a mechanizmusok eltolását. Ezekkel az opciókkal sikerült létrehoznom a szükséges elemeket.

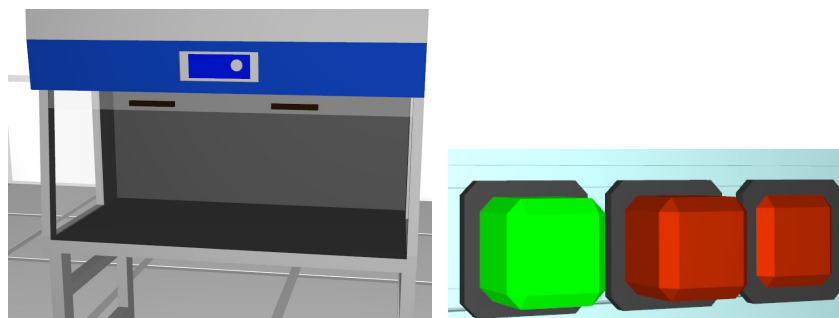
Az elrejtés és felfedés módszerével egy vonalkódolvasó, egy biztonsági fényfüggöny és 3 különböző színű lámpa készült el (lásd. Ábra. 35). Az olvasó és a fényfüggöny esetében a fényt csökkentett átlátszóságú modellként szemléltettem, amely kikapcsolt állapotban rejtve van, bekapcsolt állapotban pedig látható. A lámpák esetében egy adott pozíción 3 lámpa található, amelyekhez egy programot rendeltem hozzá, ami 1 adott lámpát láthatóvá tesz, míg a többi elrejt.



Ábra 35: Interaktív elemek beállítása: vonalkódolvasó, fényfüggöny és lámpa

A szekrénymodellhez egy egyszerű mechanizmust hoztam létre, amely egy eltolható elemmel rendelkezik, ez a szekrényajtó (Ábra. 36). Ezeknek az egymástól való távolsága zárt állapotban 0 mm-es, teljesen nyitott állapotban pedig 480 mm-es és az ajtót szabadon mozgathatjuk ezek között.

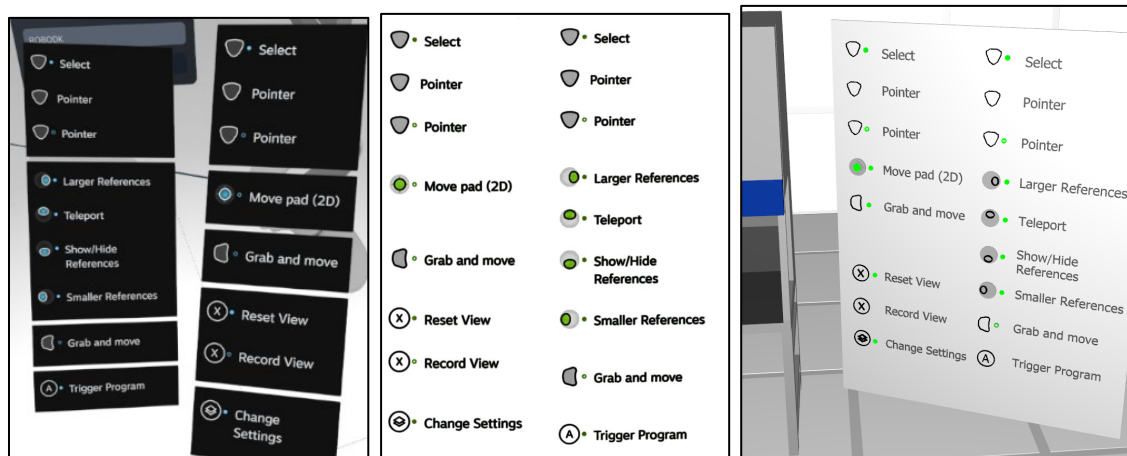
Az elemek létrehozásának legérdekesebb része az volt, hogy a gombokat olyan mechanizmusként alkottam meg, amely a 0 mm-es pozícióban benyomott állapotban van, a 25 mm-es pozícióban pedig szabad állapotban. Mindkét gombhoz (lásd. Ábra. 36) további programokat rendeltem hozzá. A zöld gombot a teljes automatizálás elindításához, a piros gombot pedig a megállításhoz, a hazatéréshez és a modellek alapállapotba történő visszaállításához rendeltem (lásd Ábra. 33 és Ábra. 34).



Ábra 36: Aktív elemek beállítása: szekrényajtók és a gombok

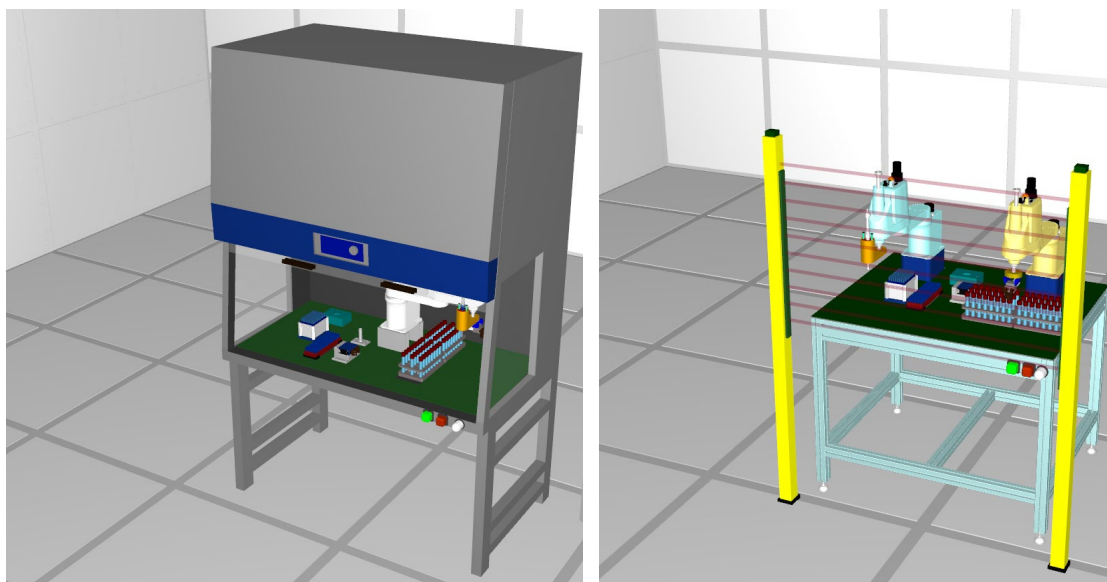
## 4.8 Felhasználói környezet elkészítése

A tesztelés során kiderült, hogy az elemek vezérlése könnyebben megérthető, ha a szobában van egy leírás a vezérlőgombokról. Emiatt létrehoztam az automatizálás helyszíne mellett egy képekkel ellátott leírást, amely a összes gomb használatát mutatja be, lásd. Ábra. 37. Ez a modell közvetlenül a SketchUpban készült 3 modellcsoportból (színek szerint), amelyeket az importálás után átszíneztem.



Ábra 37: A irányítógombok leírópaneljének létrehozása (ENG)

A valósághűbb megjelenítés érdekében az automatizálás köré egy kocka alakú, csempékkel kirakott környezetet is létrehoztam (lásd. Ábra. 38).



Ábra 38: A robotok közvetlen környezete

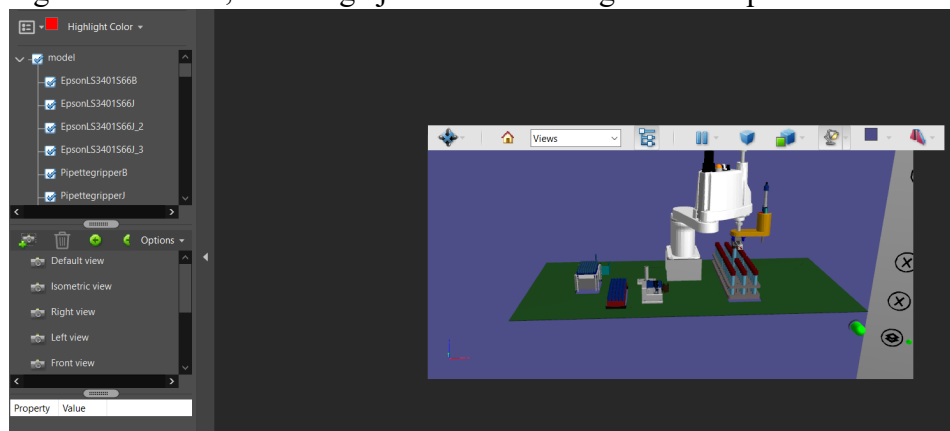
## 4.9 A projekt eredménye

A projekt magába foglalja egy bizonyos feladat automatizálását egy és két SCARA robotra. RoboDK képes arra is, hogy Python kódot készítsen a program futtatásához, amit egy valódi roboton is képes lefuttatni. Az elrendezés 4 iterációjával dolgoztunk (2 különböző kémcsőtartó modellel, 2 kétujjas gripperel és 2 pipettával).

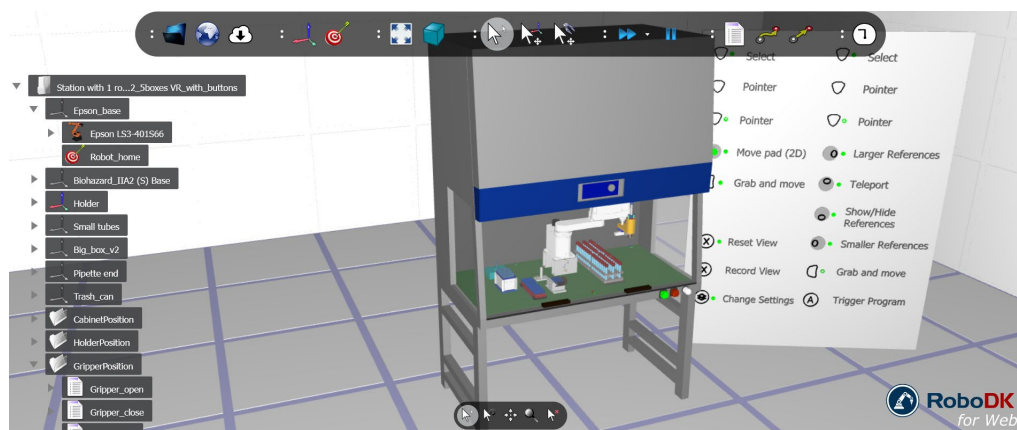
### 4.9.1 Támogatott exportálási fájlformátumok

A RoboDK szoftver 3 exportformátumot támogat, amelyek lehetővé teszik a projekt megnyitását és az automatizálás futtatását olyan számítógépeken is, amelyeken nincs telepítve a teljes szoftver. A három exportálási lehetőség a következő: HTML, 3D pdf és a RoboDK önálló (egyszerűsített) változata. E három lehetőség közül a legjobb választás az önálló (standalone, exe) verzióba történő exportálás, amely lehetővé teszi a futtatást VR környezetben. A 3D0 (lásd Ábra. 39) és a HTML (lásd Ábra. 40) támogatják az automatizálás futtatását és a térben való forgatást, de nem a legrealisztikusabb a megjelenítésük. Ez a két lehetőség csak egy automatizálási animáció exportálására alkalmas, amelyet a robot folyamatosan ismétel. Az iskolai változat támogatja a 3D pdf és HTML exportot, amelyek kevesebb tárhelyet foglalnak. Az önálló verzióban történő exportálás csak a Professional verzióban érhető el.

A renderképek közvetlenül a SolidEdge Keyshot szoftverből készültek, a projekt bemutatásához pedig HTML és 3D pdf formátumokat exportáltunk a RoboDK-ból. A tesztelés után kiderült, hogy a 30 napos próbaverzió támogatja a diákverzióban készített hosszabb program futtatását, és támogatja a VR-szemüvegbe való képalkotást.



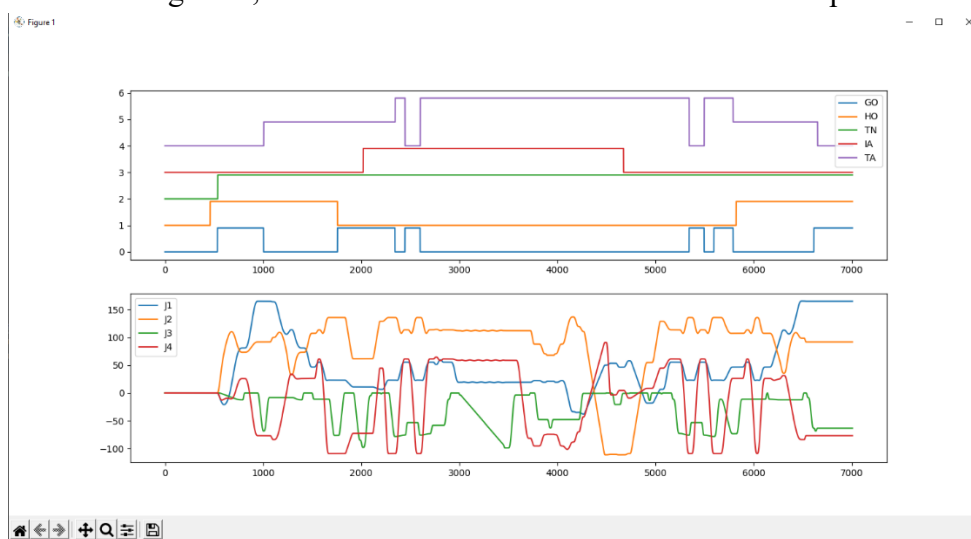
Ábra 39: Exportált automatizálási fájl – 3D pdf



Ábra 40: Exportált automatizálási fájl – online weboldal

#### 4.9.2 Az automatizáció további felhasználási lehetőségei

A projekt végső szakaszában lehetőség nyílt az automatizációt a korábbtól eltérő módon lefuttatni. Ez a futtatás közel áll az úgynevezett „digitális ikrek” felhasználáshoz, mely során párhuzamosan fut a valós roboton és az automatizációban. Ennek a folyamatnak két féle megvalósítását próbáltuk ki. Az első felhasználása során, az egyszer a SCARA roboton lefuttatott folyamat során adott időközönként a csuklóinak pozícióit lementettük egy log fájlba, és majd később ezeket közvetlenül beimportáltuk egy Python kód segítségével. A digitális robotunk ezáltal lekövette a valós robot útvonalát. Ebben a megvalósításban viszont a robot nem saját útvonalakat jár be, hanem a meglévő pozíciókat érte el könyök interpoláció segítségével. Ennek során sajnos nincs lehetőség útvonaloptimalizálásra vagy ütközéstervezésre. Továbbá fontos szerepet játszik a térbeli modellek pontos elhelyezése, hogy az minél pontosabban megegyezzen a valósággal, hogy a kémcsövek, kupakok felvételekor helyes legyen az animáció során a forgástengely körüli forgás. Emiatt az első futtatáskor szükség volt a robot saját koordináta-rendszeréhez lemérni a behelyezett elemek pozícióját, és azokat a RoboDK környezetében átmozgatni az új pozíciókra. Fontos volt még kimenteni az automatizációból, hogy mikor futnak le a mechanizmusok mozgásainak (értsd: ajtó kinyitása, gripper pozíciói, kémcsőtartó kinyitása stb.) az adatai is kimentésre kerültek (lásd Ábra 41), amelyről idővel kiderült, hogy hiányos volt, így a RoboDK szoftverben nem történt meg minden pozícióváltás időben. A naplózást végző programon való javítást követően ez a hiba megszűnt, és a szimulált robot már lekövetett minden pozícióváltást.



Ábra 41: A SCARA robot csuklóinak illetve a mechanizmusok kimentett pozíciói

A második megvalósítás során a RoboDK-automatizáció párhuzamosan futott a fizikailag is mellette elhelyezkedő robottal. Kezdetben a kimentett adatok túl sűrűn érkeztek, de az adatok kimentési idejének való finomhangolása után már képes volt lépést tartani (nem rendelkezett késéssel) a programunk. Így lehetőség nyílt az automatizációt VR-ban is és fizikailag is megtekinteni. Ez a megvalósítás még megfelelő lehet például olyan esetekben ahol a valóságban lévő robotot valamilyen oknál fogva nem tudjuk figyelemmel követni, de szeretnénk megnézni, hogy éppen melyik szakaszában van a műveletnek.

## 4.10 Automatizálás megjelenítésének optimalizálása a VR-bemutatóra

Az optimalizálás nagyon fontos feladat, mert a gördülékenység hiánya és a rossz felbontás megtöri az automatizálás valóságát a VR-megjelenítés során. Ennek javítására fontosnak tartottam az optimalizálást szoftveres és hardveres oldalról is.

### 4.10.1 Hardveres optimalizálás

A projekt során a következő hardvereket használtuk:

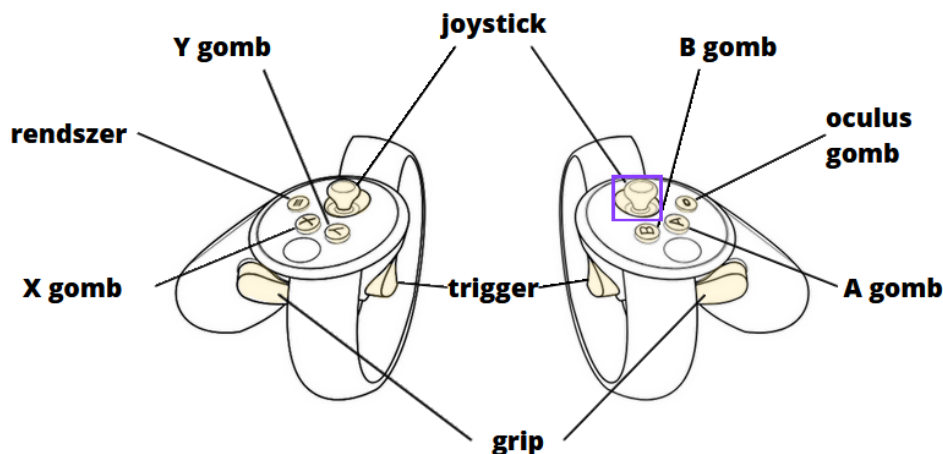
- PC: HP Omen 15 (i7-8750H, GTX 1070 Max-Q, SSD, FHD)
- VR-szemüveg: Oculus Quest 2 (operációs rendszer v50.0.0.0.195.257)
- Képtovíteli technológia: Air Link (vezeték nélküli, WiFi-n keresztül)
- WiFi router: TP-Link TL-WR902AC (operációs rendszer: OpenWrt 22.03.3)
- Használt szoftverek: fpsVR 1.25.2, RoboDK v5.5.1 (64bit)

Az optimalizálás érdekében az routeren 5 GHz-es jelet állítottunk be, ami a létrehozott hálózathoz maximálisan 433 Mbps sebességű kapcsolatot garantál.

A mi esetünkben használt szemüveg (Oculus Quest 2) esetében a kontrollereken ellenőriztük az automatikus funkcióhozrendelést a gombokhoz (lásd. Ábra. 41). Későbbiekben az automatizálást az Oculus CV1 VR-szemüveggel és az Acer Windows Mixed Reality headsetjével is teszteltük. Az Oculus CV1 esetében a vezérlőgombok automatikusan hozzá lettek rendelve, a Windows Mixed Reality Headset esetében a gombok nem voltak meghatározva, de ez a probléma könnyen orvosolható a SteamVR szoftverben a vezérlőgombok funkciójának beállításával. A hozzárendelt gombokat lásd Ábra 42. az Ábra 43 szerint.

| Left Oculus Touch Controller System                                    | Grip                                                                    | Right Oculus Touch Controller Trigger                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>USE AS BUTTON</b><br>Click Change Settings<br>Touch None            | <b>USE AS TRIGGER</b><br>Click None<br>Touch Grab and move<br>Pull None | <b>USE AS TRIGGER</b><br>Click Select<br>Touch Pointer<br>Pull Pointer                                                                               |
| <b>Trigger</b>                                                         | <b>Left skeleton</b>                                                    | <b>Joystick</b>                                                                                                                                      |
| <b>USE AS TRIGGER</b><br>Click Select<br>Touch Pointer<br>Pull Pointer | <b>X Button</b>                                                         | <b>USE AS DPAD</b><br>Mode Touch<br>North Teleport<br>East Larger References<br>South Show/Hide References<br>West Smaller References<br>Center None |
| <b>Joystick</b>                                                        | <b>USE AS BUTTON</b><br>Click Reset View<br>Touch Record View           |                                                                                                                                                      |
| <b>USE AS JOYSTICK</b><br>Click None<br>Touch None                     |                                                                         |                                                                                                                                                      |

Ábra 42: Oculus Quest 2 vezérlő beállítása SteamVR-ben

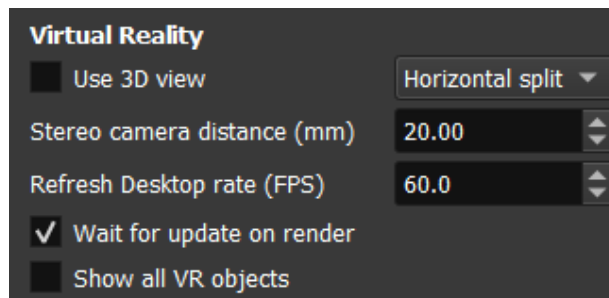


Ábra 43: Oculus Quest 1, 2 és Oculus CV1 irányítógombok

#### 4.10.2 A szoftver optimalizálása

Az optimalizálás a RoboDK szoftver oldaláról is fontos volt, amely egy teljes kézikönyvvel rendelkezik erre a célra egy weboldal formájában. [32].

Ez alapján megtörtént a koordináta-rendszerek és a VR-szemüveg munkaterületének az elrejtése. A kézikönyv szerint a SteamVR-ben a felbontás megváltoztatását és a számítógépen lévő ablak elrejtését is kipróbáltam, de ezek a változtatások nem befolyásolták a szemüveg FPS-ét. A beállításokban használt paramétereket lásd Ábra 44.



Ábra 44: A VR beállítása a RoboDK szoftverben

A szoftverben az automatizálást futtatva volt:

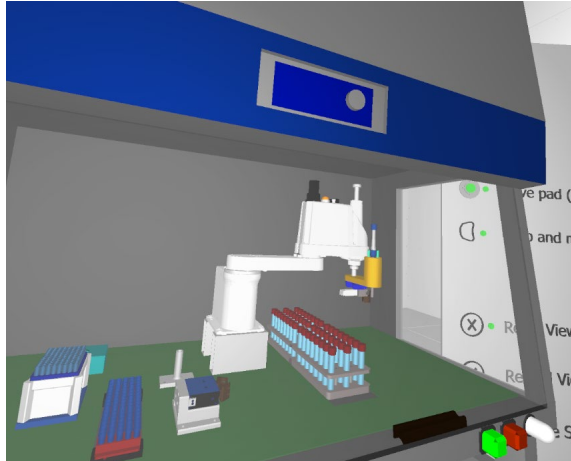
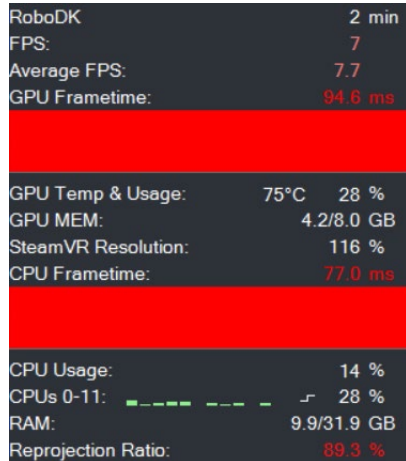
- a legjobb minőségre (nem jeleníti meg a 0,5%-nál kisebb modelleket és a kurzor mozgásának visszajelzését),
- a legjobb teljesítményre (a kurzorvisszajelzés kihagyása és a nézet 1,5%-ánál kisebb modellek meg nem jelenítése, szövegek elrejtése),
- a teljesítmény és a minőség közötti beállításra (a nézet 1%-ánál kisebb modellek nem jelennek meg, a szövegek elrejtése).

A mért FPS-ek összehasonlítása három beállítás esetén:

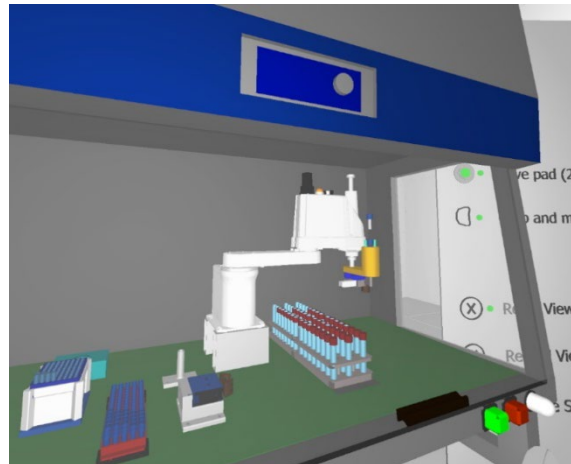
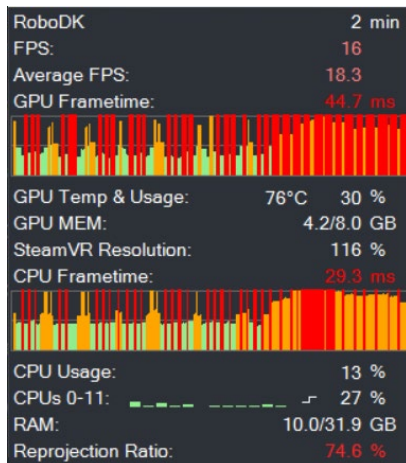
- Az első beállítás (lásd Ábra 45) a modellek minden részletét megjeleníti, de nagyon alacsony az FPS (átlagosan 7), ami már észrevehető és akadozó.
- A második beállítás (lásd Ábra 46) sajnos eltávolítja a modellek egyes részeit (lásd a gombok és a kémcső részeit), és így rontja a szimuláció minőségét, de ehhez képest átlagosan 18,3 FPS-t produkál.
- A harmadik beállítás (lásd Ábra 47) vizuálisan hasonló a másodikhoz, de átlagosan 12,9 FPS.

A színek jelentése és a mennyiségük a 3 beállítás során:

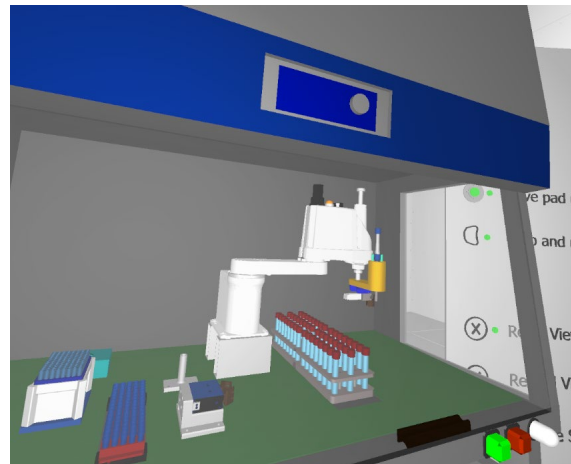
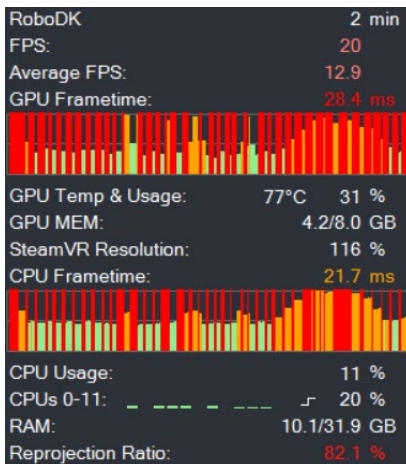
- klasszikus képmegjelenítés – nagyon kevés,
- reprojekció mozgássimítással – több,
- reprojekció mozgássimítás nélkül – sok,
- 1/3 képmegjelenítés – sok,
- megjelenítési hiba – nincs,
- az alkalmazás által előírt korlátozások (CPU-val kapcsolatos) – nincs.



Ábra 45: Automatizálás a legjobb minőségi beállítással



Ábra 46: Automatizálás a legjobb teljesítmény beállításával



Ábra 47: Automatizálás a legjobb teljesítmény és minőség közötti beállítással



## 5 ÖSSZEGZÉS

Ebben az munkában egy SCARA robot automatizálása valósult meg virtuális valóságban. A vizualizáció párhuzamosan futott a valós robot automatizálásával, amely több iteráción keresztül változott, amelyek során az asztalon lévő modellek elrendezése, a szerszámmodellek, az automatizálási eljárások és az ipari robot pályái megváltoztatásra kerültek. Ily módon 7 különböző szerszámot állítottam be, amelyek közül a végén 3-at használtam fel. A modellek különböző technikákkal készültek, mint például illusztrációs kép arányára alapozás vagy 3D szkennelés. Az automatizálást először a SimlabComposer animációs szoftverben, majd az ABB RobotStudióban kezdődött el, és mint utolsó és számunkra megfelelő szoftverben, a RoboDK szoftverben valósult meg. A feladatot ipari oldalról oldottam meg, ahol az automatizálás professzionális szoftverrel készült el, amely valódi kódot generál ki, továbbá képes egy valódi ipari robotot is vezérelni. Aktív és interaktív elemeket hoztam létre a valóság minőségének növelése érdekében. Az aktív elemek: a vonalkódolvasó, a biztonsági fényfüggöny és a világítás voltak. Az interaktív elemek: a szekrényajtó és az automatizálás elindítására és leállítására szolgáló gomb. A VR felhasználási területe az automatizálás létrehozására még nem teljesedett ki, de egy csúszómechanizmussal sikerült létrehozni egy olyan gombot, amelyhez a teljes automatizálást képes elindítani és rendelkezik saját animációval. Az utolsó részben az automatizálás vezetékek nélküli megjelenítésének optimalizálásával foglalkoztam az Oculus Quest 2 VR-szemüveggel, amelyhez meghatároztam a képalkotáshoz legmegfelelőbb beállításokat. A vezérlőgombok beállításával és az automatizálás exportálásához különböző formátumok használatának lehetőségével is foglalkoztam.

A különböző szoftverek használata során megállapításra került, hogy az ipari robotok száma és összetettsége, valamint a VR-ban a testekkel való felhasználói interaktivitás mértéke nagyon fontos tényező. Abban az esetben, ha a kézi összeszereléshez is szeretnénk elhelyezni interaktív testeket, összeszerelési folyamatot vagy környezetet, jobb lenne a teljes feladatot különböző szoftverekre bontani, vagy esetleg Unity játékmotort használni. A modellek létrehozását különböző módszerekkel kezeltük, amelyek eltérnek az egyszerű modellezéstől. A RoboDK olyan kódot hozott létre, amely a valóságban is futtatható, de ez a kód nem került futtatásra, és ez csak hipotetikusán működhetne, esetlegesen még kódot a robot nyelvének megfelelően korrigálni kellene, vagy kicserélni a vezérlőrendszert. Fontos rész volt képalkotáshoz szükséges beállítás optimalizálása, ahol kiderült, hogy a képalkotást leginkább a legkisebb megjelenített test mérete befolyásolja. A RoboDK alapból támogat néhány kontrollert. Célszerű erről egy bemutatót készíteni, és ellenőrizni az a kontrollerek beállításait.

Ez a munka jól demonstrálja, hogy az automatizálás VR-ban történő exportálása egyszerű, ha a szoftver támogatja a VR-t. Egy olyan módszer került megvalósításra az interaktív elemek létrehozására, amit eddig még sehol sem figyeltünk meg. Így ez jó demonstráció lehet azok számára, akik például gombokat szeretnének hozzáadni anélkül, hogy el szeretnék sajátítani, hogyan kell játékmotorokat kezelni. A projekt folytatása esetén javasolt ellenőrizni, hogy a létrehozott kód hogyan fut le a valóságban, illetve helye van még további optimalizálásnak is. A VR-szemüveggel való használat során fontos tényezők még a szemüveg tulajdonságai, illetve a szoftverek naprakészsége.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] The Very Real History of Virtual Reality (+A Look Ahead). *G2* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://www.g2.com/articles/history-of-virtual-reality>
- [2] BROWN, Rory. VRcompare - The Internet's Largest VR & AR Headset Database. *VRcompare* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://vr-compare.com/>
- [3] *Steam Search* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://store.steampowered.com/search/?tags=21978&ndl=1>
- [4] *VRChat on Steam* [online]. [megtekintve: 2023-09-21]. Elérhető: <https://store.steampowered.com/app/438100/VRChat/>
- [5] *Immersed* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://immersed.com/>
- [6] *FPV Drone Simulator on Steam* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: [https://store.steampowered.com/app/691730/FPV\\_Drone\\_Simulator/](https://store.steampowered.com/app/691730/FPV_Drone_Simulator/)
- [7] *An INSANE Quest 2 Out Of Body Experience!* [online]. 2021 [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: [https://www.youtube.com/watch?v=AfpP\\_zDuhdg](https://www.youtube.com/watch?v=AfpP_zDuhdg)
- [8] BONEWORKS on Oculus Rift. *Oculus* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://www.oculus.com/experiences/rift/2385436581584047/>
- [9] PAVIA, Will. 'Gorilla arm' warning for virtual reality users [online]. nedatováno [megtekintve: 2023-09-20]. ISSN 0140-0460. Elérhető: <https://www.thetimes.co.uk/article/gorilla-arm-warning-for-virtual-reality-users-mbgscz6x8>
- [10] Beat Saber on Oculus Rift. *Oculus* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://www.oculus.com/experiences/rift/1304877726278670/>
- [11] Eleven Table Tennis on Oculus Quest. *Oculus* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://www.oculus.com/experiences/quest/1995434190525828/>
- [12] *The Thrill of the Fight on Oculus Quest* | *Oculus* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://www.oculus.com/experiences/quest/3008315795852749/>
- [13] *Virtual Reality Applications in Healthcare - Flatworld Solutions* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://www.flatworldsolutions.com/healthcare/articles/virtual-reality-applications-in-healthcare.php>
- [14] JAMES, Paul. The Gulf Between High End Military VR and Consumer VR is Rapidly Shrinking. *Road to VR* [online]. 18. duben 2015 [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://www.roadtovr.com/the-gulf-between-high-end-military-vr-and-consumer-vr-is-rapidly-shrinking/>
- [15] *The Ultimate Guide To Virtual Reality In Revit — REVIT PURE* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://revitpure.com/blog/vr>
- [16] *VR for Architecture, Engineering, and Construction* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://irisvr.com>
- [17] Gravity Sketch | 3D design and modelling software. *Gravity Sketch* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://www.gravitysketch.com/>
- [18] Painting VR on Oculus Quest. *Oculus* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://www.oculus.com/experiences/quest/310611759615d8066>
- [19] Kingspray Graffiti on Oculus Quest. *Oculus* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://www.oculus.com/experiences/quest/2082941345119152/>

- [20] *Steam Hardware & Software Survey* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://store.steampowered.com/hwsurvey/Steam-Hardware-Software-Survey-Welcome-to-Steam>.
- [21] BROWN, Rory. *VRcompare - The Internet's Largest VR & AR Headset Database. VRcompare* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://vrcompare.com/compare?h1=1qnvNfJKq&h2=H0JXNCr3u4&h3=0dLRrbMbHgL&h4=pDTZ02Pkt&h5=0jLuwg808-j>
- [22] SlimeVR Full-Body Tracker. *Crowd Supply* [online]. [megtekintve: 2023-03-15]. Elérhető: <https://www.crowdsupply.com/slimevr/slimevr-full-body-tracker>
- [23] TRUJILLO, Jorge Luis Aroca, Jorge Bernardo Ramírez ZARTA a Ruthber Rodríguez SERREZUELA. Embedded System Generating Trajectories of a Robot Manipulator of Five Degrees of Freedom (D.O.F). *KnE Engineering* [online]. 2018, 512–522 [megtekintve: 2023-03-15]. ISSN 2518-6841. Elérhető: doi:10.18502/keg.v3i1.1455
- [24] *Visual Components - 3D manufacturing simulation software* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://www.visualcomponents.com/>
- [25] *The key to a successful robotic integration: Robot Simulation - RoboDK - Omron Robotic Days 2022* [online]. 2. únor 2022 [megtekintve: 2023-03-15]. Elérhető: <https://www.youtube.com/watch?v=LLJux2r4UNw>
- [26] *Purchase - RoboDK* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://robodk.com/pricing>
- [27] Academia - Visual Components' simulation solutions for education. *Visual Components* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://www.visualcomponents.com/industries/academia/>
- [28] *SimLab Composer Educational License Request* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://www.simlab-soft.com/3d-products/simlab-composer-freelicensee.php>
- [29] UNITY TECHNOLOGIES. *Compare Unity plans: Pro vs Plus vs Free. Choose the best 2D - 3D engine for your project! - Unity Store* [online]. [megtekintve: 2023-03-15]. Elérhető: <https://store.unity.com/compare-plans>
- [30] *Unity Robotics Hub* [online]. C#. B.m.: Unity Technologies. 15. březen 2023 [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://github.com/Unity-Technologies/Unity-Robotics-Hub>
- [31] *Standard Biosafety Cabinet-Dual HEPA - Haier Biomedical* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://www.haierbiomedical.co.uk/biological-safety-cabinet/standard-biosafety-cabinet-dual-HEPA.html>
- [32] *Virtual Reality - RoboDK Documentation* [online]. [megtekintve: 2023-09-20]. Elérhető: <https://robodk.com/doc/en/Virtual-Reality.html#VR>



# TÁBLÁZATOK ÉS KÉPEK TARTALOMJEGYZÉKE

## Képek tartalomjegyzéke:

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ábra 1: A leggyakrabban használt kulcsszavak VR-ral kombinálva [3] .....                                                              | 10 |
| Ábra 2: A VRChat szoftver első 5 kulcsszava [4] .....                                                                                 | 10 |
| Ábra 3: Példa egy tanulócsoporthoz VR-ban (Immersed) [5] .....                                                                        | 11 |
| Ábra 4: Példa a drónnal való használatra – FPV Drone Simulator [6] és a valóságban [7] .....                                          | 12 |
| Ábra 5: Példa a VR-ban való fizika tesztelésére – BONEWORKS [8].....                                                                  | 13 |
| Ábra 6: Kardió edzés VR-ban - Beat Saber [10] .....                                                                                   | 13 |
| Ábra 7: Asztalitenisz a VR-ban – Eleven Table Tennis [11] .....                                                                       | 14 |
| Ábra 8: Box VR-ban – The Thrill of the Fight [12] .....                                                                               | 14 |
| Ábra 9: VR használata építészeti számokra – IrisVR [16].....                                                                          | 16 |
| Ábra 10: Egy ipari iskola vizualizációja – Enscape .....                                                                              | 16 |
| Ábra 11: VR használata modellezéshez – Gravity Sketch [17].....                                                                       | 17 |
| Ábra 12: VR használata festéshez – Painting VR [18] és graffitihez – Kingspray Graffiti [19].....                                     | 17 |
| Ábra 13: A leggyakrabban használt VR-szemüvegek Steam platform alapján [20] .....                                                     | 18 |
| Ábra 14: A robot mozgásának alapvető típusai [23] .....                                                                               | 22 |
| Ábra 15: Automatizálás a Visual Components szoftverben [24] .....                                                                     | 23 |
| Ábra 16: Automatizálás a RoboDK szoftverben [25].....                                                                                 | 23 |
| Ábra 17: Asztal modellje 2 robothoz.....                                                                                              | 24 |
| Ábra 18: Illusztrációs képek az automatizálás létrehozásához (szerző: Ing. Adámek Roman).....                                         | 24 |
| Ábra 19 Lab. szekrény létrehozásának menete a SketchUp-ban .....                                                                      | 25 |
| Ábra 20: A környezet első változatának elkészítési folyamata fotogeometria alkalmazásával (SketchUp és Solid Edge).....               | 26 |
| Ábra 21: Az illusztráció (bal oldali 2) és a mérés (jobb oldali) szerint készített modell közötti különbség.....                      | 26 |
| Ábra 22: A kézi pipettamodell elkészítése az ábra szerint (bal oldalt Sketchup, alul Solid Edge) és a pipettatartó (jobb oldalt)..... | 27 |
| Ábra 23: Pipettamodell javítási eljárása, balról jobbra: Sketchup, Instant Meshes, Fusion 360 és Solid Edge .....                     | 28 |
| Ábra 24: Első megvalósítások, balra SimlabComposer, jobbra ABB RobotStudio .....                                                      | 29 |
| Ábra 25: Modellek a RoboDK szoftverben .....                                                                                          | 29 |
| Ábra 26: A modellek színezése és a súlypont (zöld pont) megjelenítése .....                                                           | 30 |
| Ábra 27: A tömeg [kg], a tehetetlenségi nyomaték [kg.m <sup>2</sup> ] és a tömegpont [mm] számértékének meghatározása .....           | 30 |
| Ábra 28: 1. elrendezés .....                                                                                                          | 31 |
| Ábra 29: 2. elrendezés .....                                                                                                          | 31 |
| Ábra 30: 3. elrendezés .....                                                                                                          | 31 |

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ábra 31: Példa egy 2 ujjas gripper paramétereinek beállítására .....                    | 32 |
| Ábra 32: A műszerek beállítása: gripper, pipetta, pipetta + gripper és a csőtartó ..... | 32 |
| Ábra 33: Automatizálási folyamat egy SCARA robothoz .....                               | 33 |
| Ábra 34: Automatizálási folyamat két SCARA robothoz .....                               | 34 |
| Ábra 35: Interaktív elemek beállítása: vonalkódolvasó, fényfüggöny és lámpa.....        | 35 |
| Ábra 36: Aktív elemek beállítása: szekrényajtók és a gombok .....                       | 35 |
| Ábra 37: A irányítógombok leírópaneljének létrehozása (ENG).....                        | 36 |
| Ábra 38: A robotok közvetlen környezete .....                                           | 36 |
| Ábra 39: Exportált automatizálási fájl – 3D pdf .....                                   | 37 |
| Ábra 40: Exportált automatizálási fájl – online weboldal.....                           | 37 |
| Ábra 41: A SCARA robot csuklóinak illetve a mechanizmusok kimentett pozíciói .....      | 38 |
| Ábra 42: Oculus Quest 2 vezérlő beállítása SteamVR-ben.....                             | 39 |
| Ábra 43: Oculus Quest 1, 2 és Oculus CV1 irányítógombok .....                           | 40 |
| Ábra 44: A VR beállítása a RoboDK szoftverben .....                                     | 40 |
| Ábra 45: Automatizálás a legjobb minőségi beállítással .....                            | 41 |
| Ábra 46: Automatizálás a legjobb teljesítmény beállításával .....                       | 41 |
| Ábra 47: Automatizálás a legjobb teljesítmény és minőség közötti beállítással.....      | 41 |

#### **Táblázatok tartalomjegyzéke:**

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Táblázat 1: Leggyakrabban használt VR szemüvegek a piacon és tulajdonságaik [21] | 19 |
| Táblázat 2: A legnépszerűbb mozgáskövető érzékelők jellemzői [22].....           | 20 |
| Táblázat 3: A legnépszerűbb automatizálási szoftverek árai [26-30] .....         | 23 |
| Táblázat 4: A HR1200-IIA2(S) szekrény méretei [31].....                          | 25 |

# FELHASZNÁLT RÖVIDÍTÉSEK

## TARTALOMJEGYZÉKE

|             |                                                                                                      |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VR.....     | virtuális valóság (angolul Virtual Reality)                                                          |
| AR.....     | kiterjesztett valóság (angolul Augmented Reality)                                                    |
| MR.....     | vegyes valóság (angolul Mixed Reality)                                                               |
| XR.....     | virtuális és kiterjesztett valóság kombinációja (angolul eXtended Reality)                           |
| FPV.....    | első személyű nézet (angolul First Person View)                                                      |
| 2D.....     | 2 dimenziós (angolul 2 Dimensional)                                                                  |
| 3D.....     | 3 dimenziós (angolul 3 Dimensional)                                                                  |
| SCARA.....  | Szelektív engedékenységgű robotkar (angolul Selective Compliance Assembly Robot Arm)                 |
| PCVR.....   | PC virtuális valóság (angolul PC Virtual Reality)                                                    |
| DoF.....    | szabadságfok (angolul Degree of Freedom)                                                             |
| FoV.....    | látószög (angolul Field of View)                                                                     |
| MRI/CT..... | mágneses rezonancia és komputertomográfia (angolul magnetic resonance imaging a computed tomography) |
| DSTS.....   | Gyalogos katona kiképző rendszer (angolul Dismounted Soldier Training System)                        |
| DIY.....    | csináld magad (angolul Do It Yourself)                                                               |
| SW.....     | szoftver (angolul software)                                                                          |
| HW.....     | hardver (angolul hardware)                                                                           |
| TCP.....    | szerszámközpont (angolul Tool Center Point)                                                          |
| Stl.....    | sztereolitográfia (angolul stereolithography)                                                        |
| Obj.....    | objektum (angolul object)                                                                            |
| Step.....   | Adatátviteli szabvány (angolul Standard for the Exchange for Product Data)                           |
| HTML.....   | hiperszöveges jelölőnyelv (angolul Hypertext Markup Language)                                        |
| Exe.....    | futtatható formátum (angolul Executable)                                                             |
| FPS.....    | képmegjelenítési frekvencia (angolul Frame Per Second)                                               |